

世界科普名著精选

趣味地球化学

[苏联] 阿·费尔斯曼 著

[illegible] 译

湖南教育出版社

内 容 简 介

本书是著名苏联科学家、地球化学的创立人阿·费尔斯曼的科普著作。著者通过描绘神奇的原子世界，介绍自然界里的化学元素，讲解原子在地球里的迁移和变化，叙述地球化学的历史和未来，将读者带进了一个神奇而广阔的世界。

本书出版后，随着各种文本的诞生，在全世界的影响日益扩大，并很快风靡全球，征服了世界各阶层读者，引导和鼓舞了世界各国不少青少年踏上科学探索的征途。

● 《趣味地球化学》曾风靡全球，征服了全世界各阶层读者，引导和鼓舞了世界各地的青少年走上探索地球奥秘的征途。

● 《趣味地球化学》没有因为时代的局限和科学技术的发展而失去她灿烂的光辉，难能可贵的是书中的思路、观点和方法经得起历史的考验，是专业观点正确、知识丰富、寓科学于趣味之中的优秀科普名著，对当代的读者仍有强大的吸引力和征服力。

● 《趣味地球化学》不仅传播了系统而丰富的科学知识，还传播给我们正确的科学思维与科学方法，这就是阿·费尔斯曼用他的心血浇灌和培育的《趣味地球化学》永具魅力、成为世界科普名著的真正原因。

世界科普名著精选

趣味地球化学

[苏联] 阿·费尔斯曼 著
安吉 石英 陈小毅 译

湖南教育出版社

А.Е.ФЕРСМАН
ЗАНИМАТЕЛБНАЯ ГЕОХИМИЯ
ДЕТГИЗ
ЛЕНИНГРАД, 1954

世界科普名著精选
趣味地球化学
[苏联] 阿·费尔斯曼 著
安吉 石英 陈小毅 译
责任编辑：黄永华
湖南教育出版社出版发行
（长沙市韶山北路643号 邮编：410007）
湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷二厂印刷
开本：870毫米×960毫米 1/20
印张：24.6 字数：400000
1999年8月第1版 2000年6月第2次印刷
印数：4001-9000
ISBN 7-5355-2864-3/G·2859
定价：39.40元（精）35.00元（平）

编委会



作者介绍

阿·费尔斯曼
(1883～1945)

阿·费尔斯曼院士是一位才华横溢、知识渊博、思想敏锐、成就卓著并富有开拓创造精神的天才学者，是地球化学的先驱，杰出的矿物学家和地理学家。

阿·费尔斯曼，1883年10月27日生于俄国彼德堡。1907年毕业于莫斯科大学。大学毕业前发表了关于结晶学、化学和矿物学的5篇论文，荣获矿物学会安齐波夫金质奖章。27岁时晋升为矿物学教授，35岁时当选为苏联科学院院士，担任科学院博物馆馆长。他在进行科学研究的同时也进行了大量的野外实地勘查工作：在科拉半岛他发现了具有世界意义的磷灰石和镍矿石矿；在中亚细亚的卡拉-库姆沙漠他发现和研究了丰富的自然硫矿床。他在1934～1939年完成的巨著《地球化学》(4卷)是当时地球化学权威性的专著，是地球化学发展的重要里程碑。阿·费尔斯曼不仅

是科学家，而且是出色的天才作家，他一生完成了《趣味矿物学》、《趣味地球化学》、《岩石回忆录》等语言通俗、妙趣横生的科普读物、专著和文章近1500种。1945年5月20日，他在重病后不幸逝世。

序　　言

杨牧之

在世界文明的发展史中，不同民族间的文化借鉴和交流，对于相互促进民族文化的发展发挥着重要的作用。遣唐使把中华民族的优秀文化带到了日本，丝绸之路向中东乃至欧洲输送了中国的纺织技术。至于中国古代的四大发明对于促进西方近代工业技术革命的诞生所产生的重大推动作用，更是举世公认。

随着近代工业技术革命在西方的诞生和发展，近现代的科学技术呈现出了越来越快的发展势头，特别是在人类社会将进入一个新的世纪的今天，科学技术以人们意想不到的速度和力度深刻地影响并改变着人类社会的生产、生活和未来走向。人们日渐清醒地认识到，科学技术的发展水平，已经成为决定一个国家的综合国力和国际政治地位的最主要因素。一个国家，要摆脱贫困、

走向富强，不受强国的遏制，出路在于把经济建设真正转移到依靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来。为此，中共中央及时颁发了《关于加强科学技术普及工作的若干意见》，这是具有战略意义的决策。我们引进、翻译和出版优秀科普图书就是落实中央精神的一项措施。

中华民族是一个伟大的民族，她善于接受和吸收其他民族文化之所长。中国古代伟大的思想家孔子就说过"三人行，必有我师焉"。正是有这种虚怀若谷的精神，才使得我们这个古老的民族能够绵延数千年而不断，饱经沧桑而巍然屹立。

20世纪以来，特别是新中国成立以来，中西文化的交流日益广泛，在这种文化的接触、融和及碰撞过程中，科普读物的引进，作为文化传播的一种重要的方式，对于民族文化的交流和深入了解，对于向国人宣传科学精神、科学思想、科学作风和科学方法，对于提高我们民族的科技意识和科学文化素质，都发挥了十分重要的作用。在面向新世纪的今天，我国改革开放的步伐雄浑而稳健，"科教兴国"的伟大战略深入人心，历经磨难的中华民族，抓住机遇，迎头赶上，在全世界范围内，认真总结文化遗产，取其精华，弃其糟粕，是非常必要和十分迫切的。基于这种想法，新闻出版署在制定国家"九五"重点图书规划时，把科普读物的出版作为规划中的一个重要方面，专门设立了科普读物出版的子规划，以推动科普读物的写作与出版。

在世界各国，一些广为流传、被世人公认的科普名著，如爱因斯坦的《物理学的进化》、法拉第的《蜡烛的故事》、别莱利曼的《趣味物理学》等等在国外几乎是

家喻户晓，影响了几代人的成长。这些经典之作是科普创作的典范，是珍贵的文化遗产，值得认真学习和继承。为此，我们组织了科学界和科普界的专家学者，一方面对在我国出版过的数千种国外科普作品进行认真梳理、研究和筛选，另一方面，我们也在世界范围内挑选在人类历史进程中发挥过和正在发挥着重要作用的优秀科普著作，把它们翻译过来，分批出版，这就是我们这套《世界科普名著精选》。第一批推出的有法拉第、法布尔、伊林、房龙、别莱利曼、费尔斯曼、比安基、伽莫夫、爱因斯坦等世界一流的科学家和科普作家的代表作品。相信今后还会有一批一批的优秀科普名著陆续出版。

在即将告别20世纪和迎接建国50周年的时刻，我们做了这样一项工作，希望这一作品集的出版，对于推动中外文化交流，推动我国科普事业的发展，提高国民科学文化素质，都发挥应有的作用。

1999年3月1日

出版者的话

新闻出版署在制定“国家九五重点图书规划”时，提出了编辑出版《世界科普名著精选》的意见，湖南教育出版社与中国科普作家协会经过反复论证与协商，承担了这一重要项目。

三年后，我们首批奉献给读者的有现代物理学奠基人爱因斯坦、电磁学奠基人法拉第、“航天之父”齐奥尔科夫斯基、大爆炸宇宙学奠基人伽莫夫、地球化学的奠基人费尔斯曼以及著名科普作家伊林、趣味大师别莱利曼等一流科学家和科普作家的代表作品，并以此作为出版者献给中华人民共和国建国50周年的一份礼物。

《世界科普名著精选》兼顾历史与当代名著，沟通科学与人文，纵观历史与未来，关注世界科普事业的发展趋势。精选的范围：一是在科技发展史上起过重要作用

的科普名著；二是被译成多国文字，在国际上有较大影响或获得过国际性奖励的科普名著；三是世界著名科普作家、科学家的代表作；四是对传播普及科学技术的新进展、新成就、新观念、新学说起过重大作用的科普名著或畅销书。

我们编辑出版这套书的目的是：一、向我国读者提供一整套展示一百年来科学技术重要发展历程，而又深入浅出、通俗易懂、生动活泼、引人入胜的科普精品，以激发人们对科学技术的兴趣，引导青少年钟情科学事业。二、把分散出版的、淹没在书海中的零星科普名著集中起来，统一规格，成套出版，以发挥整体效应。三、为图书馆、家庭书房提供一套具有长期保存和阅读价值的高水平、高质量的科普藏书。四、向广大科普工作者提供一套不同题材、不同体裁、不同风格、不同层次的科普精品，供观摩、借鉴之用，以提高我国的科普创作水平。

由于这套书涉及面广，时间跨度又很长，我们按读者对象和内容深浅程度分为三个层次：一是供初中以上文化程度的广大青少年阅读的“青少年科普类”（书脊标有红色标志）；二是供中等以上文化程度的广大科学爱好者阅读的“大众科普类”（书脊标有绿色标志）；三是供非本专业科教人员、管理人员阅读的“高级科普类”（书脊标有蓝色标志）。便于读者选择。

翻译出版这套书是一项十分繁难、艰巨的工作。从征集书目、确定版本、洽谈版权、组织翻译至编辑出版，各个环节都有一系列繁杂、细致的工作要做，为此，我们组成了一个编委会，还聘请了国内外多位科学家、

科普作家、翻译家共同来开展这项工作，以利于集思广益、群策群力。本书还得到有关领导的支持，新闻出版署署长于友先、中国科学院院长路甬祥等担任顾问。

由于我们对世界科普名著的历史和现状了解得不很全面，缺乏组织这项工作的实践经验，因而还有一些不尽人意的地方，对于缺点和不当之处，还望各界人士批评指正。

1999.6



目录

原序 1

引言 9

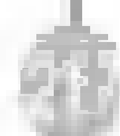
1 原子 13

什么是地球化学 看不见的世界，原子和化学元素 我们周围的原子 原子在宇宙里的诞生和动态 门捷列夫怎样发现他的定律 今天的门捷列夫元素周期表 地球化学上的门捷列夫元素周期表 原子分裂，铀和镭 原子和时间

2 自然界里的化学元素 77

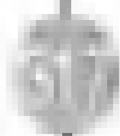
硅——地壳的基础 碳——一切生命的基础 磷——生命和思想的元素 硫——化学工业的原动力 钙——巩固的象征 钾——植物生命的基础 铁和铁器时代 锶——制造红色焰火的金属 锡——制造罐头的金属 碘——到处都有的元素 氟——腐蚀一切的元素 铝——20世纪的金属 铍——未来的金属 钒——汽车的基础 金——金属之王 稀有的分散元素

3 自然界里的原子史



陨石——宇宙使者 地下深处的原子 地球史上的原子史 空气里的原子 水里的原子 地球表面的原子，从北极地带到亚热带 活细胞里的原子 人类史上的原子 战争中的原子

4 地球化学的过去与未来



地球化学思想史断片 化学元素和矿物是怎样命名的 今天的化学和地球化学 在门捷列夫元素周期表上的幻想旅行

未来的威胁　结尾

附录 379

地球化学家的野外工作　化学元素简单介绍　名词注释

再版《趣味地球化学》跋 [illegible]

原　序

谢尔巴科夫院士

在《趣味地球化学》这本书里，阿·费尔斯曼(Александр Евгеньевич Ферсман)院士用文艺笔调阐述了他多年来创立地质科学一个新的分支——地球化学——的工作总结，他的目的是证明地球的化学生活正像他富有科学经验的想象所描述的那样。

这个研究地球的科学的新的分支是在20世纪初期兴起的，苏联杰出的科学家——维尔纳茨基（В. И. Вернадский）院士和阿·费尔斯曼院士关于这个新的分支都有许多著述。

人们花了许多劳力和时间，把无数零星的观察积累了起来，这才对于地壳的化学成分得到一些概括的认识。原子物理学和原子化学这两门研究物质结构的科学的成就，帮助了地质学家和矿物学家清楚地认识到物质在地壳里的分布和循环的情况。人们懂得了，在原子和分子这些微小的物质粒子里所起的变化，以及在宇宙空间的太阳和其他遥远的星体这些巨大的物质凝聚体里所起的变化，是统一的。

于是兴起了一门科学，就是地球化学，它把我们带进了化学物理学、宇宙化学和天体物理学的成就的领域，同时又把这3门科学上的资料跟研究矿产的问题结合了起来。

阿·费尔斯曼在地球化学的研究上用了很大的精力，他深刻地了解到这门科学在苏联的经济和文化生活中的意义。

阿·费尔斯曼在苏联青年当中的声望是很高的，这是因为他虽然是一个知名的科学家，做着巨大的科学工作和国家工作，然而由于他热爱科学，热爱生活，他还给青年写了许多极好的通俗科学读物。这些著作里面最好的两部是《趣味矿物学》和《趣味地球化学》。

可惜的是，阿·费尔斯曼在《趣味地球化学》全书写完以前就去世了，本书里有几处是他的朋友和学生补写的。

例如，"看不见的世界"和"原子分裂"是赫洛平(В. Г. Хлопин)院士写的；"碳"、"水里的原子"和"活细胞里的原子"是维诺格拉多夫(А. П. Виноградов)院士写的；"稀有的分散元素"是谢尔宾纳(В. В. Щербина)教授写的；"地球化学思想史断片"和"人类史上的原子"是谢尔巴科夫(Д. И. Щербаков)院士和拉祖莫夫斯基(Н. К. Разумовский)教授根据阿·费尔斯曼的材料分别编写的。

本书的第一版是1948年出版的，由拉祖莫夫斯基教授负责全书科学性的编辑工作，他并参考了赫洛平院士的意见。他们尽力使本书各方面都符合阿·费尔斯曼原来的想法。

在本版里，编者认为可能并且已经作了下面的变动：把阿·费尔斯曼在1940年写的文章"地球化学家的野外工作"用附录的形式添在本书里面，用克里诺夫(Е. Л. Кринов)根据科学上最新材料写成的"陨石——宇宙使者"这篇短文来代替"从宇宙到地球"这一篇(拉祖莫夫斯基根据阿·费尔斯曼的材料写的)。"化学元素简述"由拉祖莫夫斯基教授和索西德柯(А. Ф. Соседко)编写。此外，有几节(例如"碳"、"锡"和"铝")根据阿·费尔斯

曼的材料作了许多处不大的补充。还有，名词注释重新作了修订，参考文献也作了修改，书里还添进了新的插图。

阿·费尔斯曼院士在苏联国内的声望很高，他是杰出的矿物学家、地球化学家和地理学家，他坚持不懈地研究了苏联的矿产资源，他又是不知疲倦的旅行家、出色的作家和地质知识的普及者。

阿·费尔斯曼 1883 年 10 月 27 日(新历 11 月 8 日)生于彼得堡。这位科学家的童年完全是在克里木度过的，他在克里木的时候早就喜欢有关石头的科学。“克里木是我的第一个大学”——这是他后来说的。

少年时代的阿·费尔斯曼最初感兴趣的是石头外表的美，后来他的兴趣逐渐开始转到了石头的成分和成因的问题上。

阿·费尔斯曼在中学毕业以后就进了莫斯科大学，他在那里听了俄国杰出的自然科学家维尔纳茨基的矿物学课，并在他的指导下进行了研究工作。

在维尔纳茨基之前，大学里的矿物学课的内容是枯燥无味的。在 19 世纪末，矿物学主要是描述各种矿物，是研究矿物的结晶形状和矿物的分类法。

但是维尔纳茨基给这种叙述性的矿物学带来了一股生气。他开始把矿物当做天然的(地球上的)化学反应的产物来研究，他开始注意矿物的生成条件：矿物的产生、生活以及转变成别种矿物的情况。

这种新的矿物学就不再像旧的那样，不再毫无感情地描述那地球内部的奇异事物了。新的矿物学使得青年研究者的生活有了新的奔头和新的思想。研究者就不单是矿物学家，而是化学家兼矿物学家了。阿·费尔斯曼后来回忆维尔纳茨基的时候说过这样的话：“教师对我们的讲授方法是把化学跟自然界结合起来，把化学思想跟博物学家的工作方法结合起来。这在自然科学上是一个新的学派，是用有关地球的化学生活的正确科学资料做依据

的。”当时莫斯科大学的矿物学研究工作不是在安静的研究室和实验室里进行，而是首先在大自然的怀抱里进行。每进行一次教学，同时就要在大自然里进行参观和勘探。后来阿·费尔斯曼不止一次地回忆并提起这种情况。

时间一年年地过去。青年大学生从顽强的学习里不断地得到知识。最后，这些研究者不分昼夜地坐着写论文，有时候他们一连几天不离校舍一步。

1907 年，阿·费尔斯曼在莫斯科大学光荣地毕业了。早在他毕业以前，他就在维尔纳茨基的指导下发表了 5 篇科学论文，是关于结晶学、化学和矿物学方面的问题的。

由于这些论文的发表，这位青年科学家得到了矿物学会奖给他的安齐波夫(А. И. Антипов)金质奖章。

阿·费尔斯曼在 27 岁的时候被晋升为矿物学教授；1912 年，他开始讲授一门全新的课程——地球化学，这在科学史上还是第一次。

阿·费尔斯曼在讲课的时候一再特别强调地说:“……我们要做地壳的化学家。矿物只是各种元素暂时稳定的结合体，所以我们不但要研究矿物的分布和生成的情况，而且还要研究元素本身，研究元素的分布、变化和生活”。

从那一年起一直到他去世为止，他从来没有脱离过苏联科学院的工作，先在彼得堡，后在莫斯科。

伟大的十月社会主义革命替科学家的科学研究工作创造了完全新的、空前未有的有利条件。因而阿·费尔斯曼得到了无穷尽的机会来发挥他全部的创造性才能；共产党和政府对科学家提出了许多任务，列宁在“苏维埃政权当前的任务”[1]和“科学技术工作计划草案”[2]这两篇文章里对于有系统地研究和调查国内天然生产力的问题作了历史性的指示，而阿·费尔斯曼也就把他的

[1]《列宁全集》，俄文第四版，27 卷，228 页。——编者注
[2] 同上，288 页。——编者注

全部精力用来解决所有这些问题。

阿·费尔斯曼是造诣很深的研究者，同时又主张科学工作要实用，他和另一些科学家都最坚决、最热忱地支持这种主张，他不断地号召科学家到实用的、符合国民经济利益的领域里去工作。

1919年，35岁的阿·费尔斯曼当选为苏联科学院院士，同时担任科学院矿物博物馆馆长的职务。

阿·费尔斯曼的创造性的努力得到了很高的评价，谁要是看到他在科学和实践方面的多种多样的兴趣以及他的那种非常少见的工作能力，都会感到惊讶的。他在阐述地球化学和矿物学的科学原理的时候都把野外勘查工作列在第一位。他进行了巨大的勘探工作。他在苏联境内到过各种各样的地区：科拉半岛的希宾苔原，植物茂盛的费尔干流域，炎热的中亚细亚的卡拉-库姆沙漠和克孜勒-库姆沙漠，贝加尔湖沿岸的和外贝加尔的大密林地区，森林密布的乌拉尔东部山坡，阿尔泰山，乌克兰，克里木，北高加索，南高加索，还有别的地方。

科拉半岛的勘查工作真不愧是一篇英雄的史诗，这是一件异常重要的工作；1920年和1930年，阿·费尔斯曼先后在希宾山和蒙切苔原开始进行了这件工作，一直到他的晚年。

他在科拉半岛发现了有全世界意义的磷灰石矿床和镍矿石，这是他的最大的功绩。

由于阿·费尔斯曼和别的专家在基洛夫的直接领导下进行了巨大的工作，科拉半岛就提供给苏联多种多样的矿产，而这些矿的储藏量又是极其丰富的。

1929年，根据党和政府的决议，科拉半岛富源[1]的开采工作开始大规模地进行了。位置在苏联极北地方的这个半岛一向是一个荒凉僻静的角落，几乎从来没有人去考察过，现在却变

---

[1] "富源"一词现已不多用，其大意是指丰富的矿产资源(下同)。——编辑注

成了重要的工矿区了。说起来像魔术似的，这个人迹不到的边区兴起了一些城市：先兴起的是希宾戈尔斯克，现在叫做基洛夫斯克，不久又兴起了蒙切戈尔斯克和别的城市。

阿·费尔斯曼描述他自己在科拉半岛的工作的时候曾经说过这样的话：

“在我过去的全部经历里，在自然界各式各样的景象里以及我对人对事的各种记忆里，我一生中印象最深的要算是希宾山了——我在那里度过了整整的一个科学时代，它差不多占了我20年的全部思想和精力，支配了我的全部生活；它加强了人们的意志，唤起了人们的科学思想，引起了人们对它的希望和期待……正是由于顽强地努力，由于对希宾山进行了巨大的研究工作，最后我们才在这里得到了奇异的成果，说起来像神话似的，希宾山在我们面前终于显露了它的富源”。然而希宾山的优美的史诗并没有妨碍阿·费尔斯曼进行别的科学勘查工作。他的无穷尽的精力是足够应付一切科学工作的。

1924年，阿·费尔斯曼开始到中亚细亚工作；一直到他去世为止，他对这件工作始终保持很大的兴趣。1925年，他大胆地到中亚细亚的卡拉-库姆沙漠中部去旅行，那时候这个沙漠几乎还没有人去考察过；他在那里研究了产量丰富的自然硫的矿床，这种矿产从此就成了苏联工业上的财富。他又在那里参加了硫磺工厂的建厂工作，这个工厂到现在还在生产。

从1934年到1939年间，阿·费尔斯曼完成了阐述地壳里的化学元素的一部重要著作——《地球化学》(共4卷)；他在这部著作里根据物理化学定律多方面地分析了地壳里各种原子移动的规律性，他在这部著作里所表现的才能和创造性的预见是很了不起的。由于这部著作的出版，阿·费尔斯曼和他所代表的俄罗斯地球化学都得到了全世界的赞誉。

1940年，阿·费尔斯曼写成了另一部著作——《科拉半岛的矿产》。他在这部著作里用确凿的实例说明了研究矿产的地球化

学方法，并指出了寻找许多种矿产的新矿床的方法。这部著作的出版使阿·费尔斯曼在1942年得到了斯大林奖金一等奖。

阿·费尔斯曼的遗著是非常多的。他发表过将近1500种文章、书籍和长篇的专业论文。除了结晶学、矿物学、地质学、化学、地球化学、地理学和航空摄影测量方面的著述以外，他在天文学、哲学、艺术、考古学、土壤学、生物学和别的方面也都有著述。

阿·费尔斯曼不但是科学家，而且是政治家和社会活动家。

特别要指出的是阿·费尔斯曼的写作，他是出色的、天才的作家——地质知识的普及者，阿·尼·托尔斯泰说他是“写石头的诗人”。

听过他的报告、学术讲演以及跟他谈过话的人都受到了他的鼓舞，他打动了各种不同年龄和职业的听众的心，他写了大量的通俗科学文章，也都是各界人士喜爱的读物。

1928年，《趣味矿物学》的第1版出版，这本书现在已经有好多种外文译本，已经出了25版。1940年，《岩石回忆录》出版。《我的旅行》、《宝石的故事》和《趣味地球化学》都是阿·费尔斯曼去世以后出版的。这几本书的出版，使得阿·费尔斯曼在各种年龄的读者中间都享有很高的声望。

这些书的出版不是突如其来的。这是作者进行了许多年的创造性的劳动和积累了许多年的经验所得到的结果；所有这些书里都反映了这位科学家的全部生活和他的科学兴趣。同时，作者又是一位有经验的、天才的教育家，他在这些书里对于培养有科学头脑的青年、对于教育苏联青年一代的任务是十分重视的。他是一位出色的作家和演说家，他的话热情洋溢，引起了大批青年对矿物学和地球化学的热爱，使许多科学工作者都对新的调查工作和勘探工作发生了兴趣。

特别要强调的是阿·费尔斯曼对他祖国的热爱。这种热爱在他的每一篇短文里和每一次谈话里都是可以感觉到的。他的所有

短文都赞美着劳动的功绩，都号召人们掌握确凿的科学知识，然后在这样的基础上去支配和创造性地改造苏联的大自然。

阿·费尔斯曼说："我们不愿意做大自然、地球和地球上富源的摄影师。我们愿意做新思想的研究者和创始者，我们要控制自然，要做征服自然的战士，使自然听从人的支配，服从人在文化上和经济上的需要。

"我们不愿意只做精密的观察者和走马看花的游览者，只把所得到的印象记在笔记簿里；我们要深入到自然景象的内部去，我们深思熟虑地研究过大自然以后不但要产生思想，而且要创立事业；我们不能单单在祖国辽阔的土地上蹓跶，我们一定要参加祖国的改造工作，要做新生活的建立者。"

在阿·费尔斯曼看来，生活是不能离开工作和科学的。问题越困难，他就越有解决这个问题的热情。

1945 年 5 月 20 日，他在重病后不幸逝世。

别梁金(Д. С. Белянкин)院士说："阿·费尔斯曼对科学和对祖国的贡献是无可估量的，是永垂不朽的。他的科学兴趣非常广泛，他经常联想到祖国的利益和荣誉，就这两点来说，他完全像俄罗斯不朽的科学家罗蒙诺索夫和门捷列夫一样。提出这两位科学家的名字来推崇阿·费尔斯曼，并不是没有道理的"。

引　言

前几年写了《趣味矿物学》后，我收到了学生、工人和各科专家几十封、几百封的来信。我从这些信里看出了他们是那么真诚地热爱岩石，迷恋着研究岩石和岩石使用的历史！一部分孩子们的来信,还那么充分地流露了青年的热情、勇敢、朝气、毅力……我被这些信件所吸引，所以我决定给青年一代，给苏联的未来一代，再写一本书。

近年来我在另外一个领域里工作，这个领域还要困难得多和抽象得多，我的思想把我吸引到一个奇妙的世界——这是无限小的、微不足道的粒子占据着的世界，而整个自然界和人本身正是由这些小粒子组成的。

最近 20 年里，我参加了创立一门崭新的科学的工作，我们把这门科学叫做地球化学。我们不是坐在舒适的书房里，在纸上一写，就创立了地球化学——这门科学是经过无数次精确的观察、实验和测量才产生的；我们为了对于我们的生命和自然界得

到新的、马克思主义的理解而斗争，地球化学便是在这种斗争里产生的；每当我把有前途的这门科学的新的一章写完的时候，我真觉得高兴极了。

那么我对于地球化学要讲些什么有趣的事情呢，它究竟是怎样一门科学呢？为什么不简单地叫做化学，而叫地球化学呢？还有，地球化学为什么不是由化学家来写，而是由地质学家、矿物学家和结晶学家来写呢?

对于这个问题，老实说，读者在读第一章的时候是得不到答案的；固然第一章里讲的材料很多，可是都很简要。除非把这书从头到底读完以后，他才会深刻了解地球化学而且感到兴趣。

那时候他就会说：“哦，地球化学原来是这么一门科学，这门科学多么有趣，可是难啊！我连化学，连地质学，还有矿物学，都知道得很少，怎么能完全懂得地球化学呢！”

可是懂得地球化学是值得的，因为将来地球化学的意义会比现在所想的重大得多：将来跟物理学和化学一同来促使能量和物质的庞大储藏量顺从人们的意志的，不是别的，正是地球化学。

我在结束这篇引言以前，愿意把本书的读法对读者奉献几点意见。要知道，我们很少谈到应该读什么，更要紧得多的是谈应该怎样去读，应该怎样去研究这书，怎样设法从书里汲取更多的益处。有一类书要埋头去读，它的有趣的故事吸引住了你，你不读到最后一页就放不下它。例如，趣味的冒险小说的读法便是这样。另一类书应该研究：书里讲的或者是整整一门科学，或者是个别科学上的问题。这类书有系统地阐述科学资料，描写自然现象，做出科学结论。读这类书的时候，每句话都要留意，一页不能跳过，甚至一行一字也不能放过。

我们的这本书不是趣味的小说，也不是科学论文。它是根据特别的计划写成的。本书一共 4 篇，一篇接着一篇，从物理学和化学上的一般问题转到地球化学的问题和地球化学未来的问题。假如读者对于物理学和化学没有什么基础，他就应该慢慢地仔细

地读，遇到他认为有趣或是困难的部分，恐怕还要多读几遍。而如果读者已经懂得物理学和化学，那么他可以把他已经知道的几章跳过去：作者力求把每章写得独立完整，尽可能地使每章不依附别的章节。本书还可以加深化学方面或地质学方面的知识。

学生在学习普通化学课程期间选本书里的几节读一读，是有极大益处的，因为这几节里某一节大部分都是在阐释化学课本里某些枯燥的叙述的。

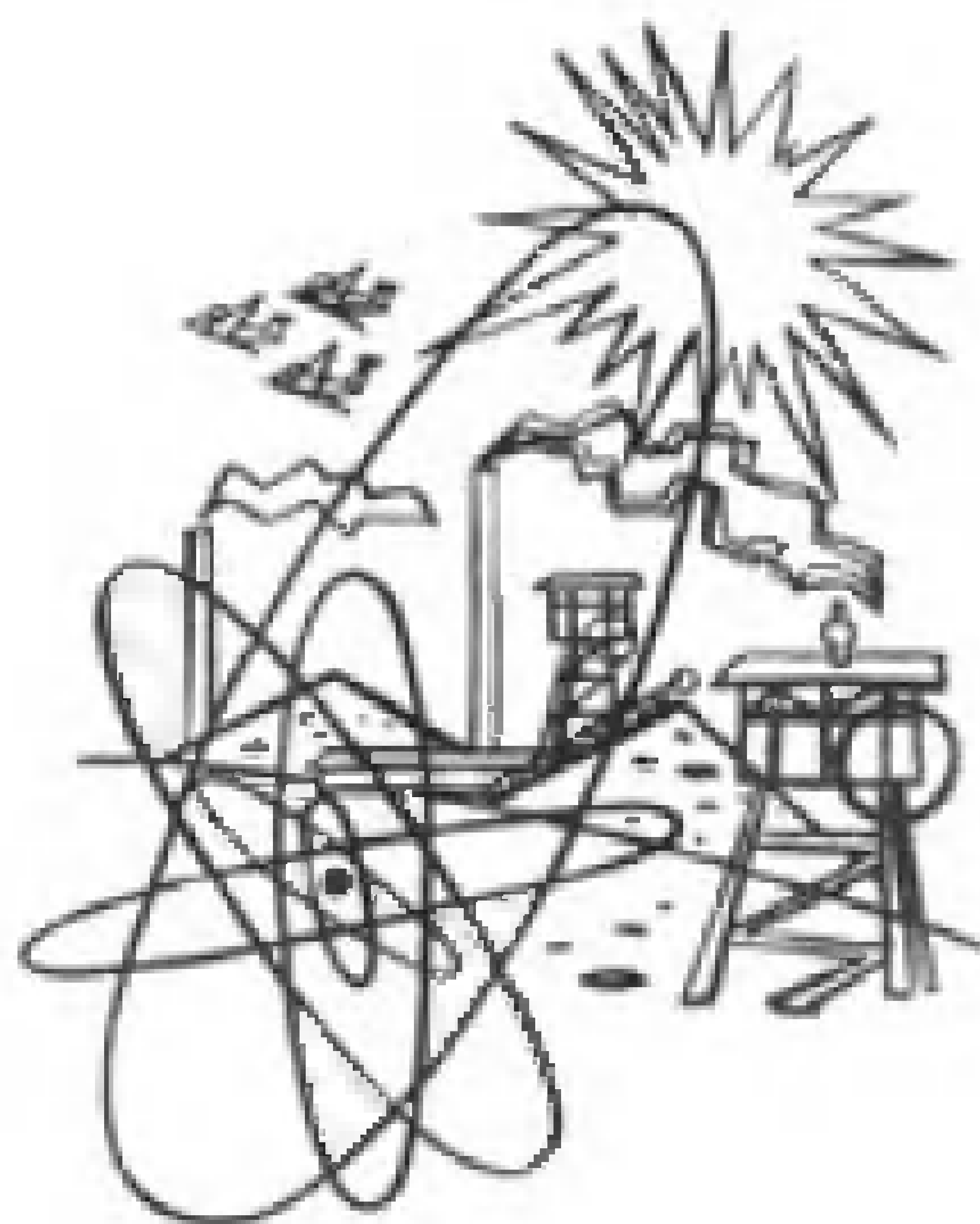
学生学到非金属的时候，可以顺便读一下本书里讲磷和硫的两节；学到黑色金属，可以读一下讲铁和钒的两节。

研究地质学的时候，最好也参考一下本书里有关各章，这几章阐明了元素在地壳里的分布，都是化学上的重大问题。关于这方面，特别重要的是叙述地壳的几章，主要的是第三篇——“自然界里的原子史”。

对于研究化学的人来说，显然他会觉得我在这书里讲的化学元素并不多：只有 15 种元素写得比较详细。可是我本来就没有打算把宇宙间、地壳深处、地球表面和人们实际使用的所有元素的化学特性和历史全部讲出来。

我只是要说明最普通和最有用的几种元素表现在“行为”上的几点最重要的特征，这些元素都在我们的周围，在地球的不显著而又是经常的化学变化当中过着复杂的化学生活。我想，照我这样写法，每种元素都可以写成很长的篇幅。也许读者愿意自己随便选一种我没有叙述的元素来试写一下它的历史。据我看来，这倒是一件有益而切实的工作；谁要是对于金属铬、对于铬的命运、对于铬的矿床和铬在工业上所起的作用发生兴趣；而愿意向这方面努力，那么他就可以把铬的历史写成许多有趣的篇幅，可以讲讲铬原子和铁族元素的原子的关系。

我只能劝告研究过本书而又喜欢对自然界各个问题作广泛分析的细心的读者去努力完成这项任务，劝他们接着我写过的地球上最重要的元素继续写下去。



1 原　子

什么是地球化学

什么是地球化学?——要懂得我们这本书里所要讲到的一切，先得回答这个问题。

我们知道地质学是什么样的科学，它告诉我们，地球、地壳是什么，地球的历史怎样，地球怎样变化，山脉、河流、海洋怎样生成，火山和熔岩怎样产生，以及海底怎样逐渐沉积起淤泥和沙粒。

我们也知道矿物学的意思，它是研究各种矿物的科学。

我在《趣味矿物学》里说过:“矿物是化学元素的天然化合物，是自然而然形成的，并没有人的意志参加在内。矿物是一种特别的建筑物，是用不同数量的几种一定种类的小砖建造起来的，但是这些砖并不是胡乱堆砌在一起，而是根据自然界一定的规律堆砌起来的。我们很容易明白，用同样的几种砖，甚至用的砖的数量也相同，仍然可以造成不同样式的房子。所以同一种矿物在自然界里生成的样子也可能很多很多，尽管它们在本质上是同一种化合物。”

“我们算过，这种砖一共近100种，我们周围的整个自然界都是由它们构成的。”

“归在这100种化学元素里面的，例如，有氧、氮、氢等气体;有钠、镁、铁、汞、金等金属;还有像硅、氯、溴等等物质。”

“各种元素用不同的数量和不同的方法配搭起来，就生成我们所谓矿物，譬如，氯和钠生成食盐，硅和两份氧生成硅石或石英等。”

“……就是这样，由于各种化学元素的配搭，在地球上造成了3000种不同的矿物(石英、盐、长石等)，而这些矿物聚集在

一起，便形成我们所谓岩石(例如花岗岩、石灰岩、玄武岩、砂岩等)。”

“研究矿物的科学叫做矿物学，叙述岩石的科学叫做岩石学，而研究这些砖块的本身和它们在自然界里的旅行的科学叫做地球化学……”

地球化学还是一门年青的科学，它还只在最近 25 年里面才产生出来，这主要归功于苏联科学家的研究工作。



生在长石上的烟晶晶体

它的任务是研究和阐明地球内部那些化学元素的命运和动态，那些元素是我们周围自然界的基础，它们依着一定的次序，排列成著名的门捷列夫(Д. И. Менделеев)表。



方解石的晶体

地球化学研究的基本单位就是化学元素和它的原子。

在门捷列夫表的每个方格里,放 1 种元素——一种原子，每个方格还挨次有 1 个次序号码——原子序数。1 号是最轻的元素氢，92 号元素叫做铀，铀的质量是氢的 238 倍。

原子非常小，如果把它们设想成球形,那么原子的直径是 $1/10^7$ 毫米。但是原子和坚实的球体完全不



门捷列夫表各格里化学元素的晶体结构。小球的位置表示原子在它固态的单质里的排列情形。图中左下方是石英里硅原子和氧原子的排列情形(列宁格勒矿冶学院博物馆的陈列室)

一样，原子本身是比较复杂的结构，它的内部有一个原子核，核外有带电小粒子叫做电子的绕着旋转，这种电子的个数因原子的种类而不同。

可见从原子的结构来看，它简直像是显微镜里看不见的那样小的太阳系；它的中心是一个太阳——原子核，绕着太阳旋转的是许多行星——电子。

不同的化学元素的原子，各有不同个数的电子。就因为这个缘故，化学元素的化学性质也都不一样。原子互相交换电子，便化合而生成分子。

在门捷列夫表上排列着元素的许多天然类族，同一族的元素不但在表上排在一起，就在自然界里也往往是在一起的。

门捷列夫系统的伟大就在于它不是纯粹理论的图表，而是表明了自然界一个个元素之间存在的关系，这种关系决定了元素之间的类似，决定了它们之间的区别，也决定了它们在地球里移动

和迁移的途径。一句话，门捷列夫表也是地球化学的表，这个表是一个可靠的指针，帮助地球化学家去进行勘探的工作。

哪里的科学家想到把门捷列夫的周期律应用去分析自然现象，哪里就会产生新思想。

那么地球化学到底是什么呢?近年来吸引了这么多的青年研究家的这门新学科，到底讲些什么呢?

顾名思义，地球化学研究的是地球自身内部的化学作用。

一切化学元素，作为自然界里独立的单位，它们不断地移动、旅行、化合，一句话，就是我们所说的在地壳里面迁移；元素和矿物在不同深度的地壳里和在不同的压力和不同的温度下，根据哪些规律来进行化合，这就是现代地球化学研究的问题。

有些化学元素(例如钪、铪)根本不会聚集起来，有时候它们分得那么散，以致某一种元素在岩石里只占 $1/10^{10}$。

可以把这类元素叫做超分散元素，我们一般不去开采这种元素，除非它们在实用上有某种特别的价值。

照我们现在的想法，在1立方米的任何一块岩石里面，可以把门捷列夫表里的全部元素找出来，只要我们的分析方法足够精确，能把一个个元素都分析出来。不应该忘记，新的方法在科学史上常常比新的学说更有价值。

另外一些元素(例如铅、铁)正好相反，它们在不断地移动当中仿佛有许多歇脚的地方，它们生成这样的化合物，使它们自己在那里容易聚集和长期保存，所以尽管在地质史上地壳有过复杂的变化，这些元素还保持聚集的状态，形成了巨大的富集矿床，因而给工业上利用就比较方便。

地球化学不但研究化学元素在地球内部以及整个宇宙里分布和迁移的规律，而且研究在某些地区里，例如在高加索和乌拉尔，这些元素在一定的地质条件下怎样分布和迁移，以便拟定勘探矿产的路线。

可见，现代地球化学在理论上的深远目标已经越来越接近实



哈萨克斯坦外伊犁阿拉套山脉里的"左塔尔加尔"峡谷

用的问题，地球化学正在努力想要根据一系列普遍的原理来指明：什么地方可能有某种元素；什么地方以及在哪种状况下可能有某种元素，例如钒和钨聚集；哪些金属"乐意"聚在一起，例如钡和钾；哪些元素彼此"回避"，例如碲和钽。

地球化学研究每一种元素的动态，既然要断定这种动态，就得熟悉元素的性质，它的特征，它是喜欢和别的元素化合呢，还是相反，喜欢跟别的元素分开。

这样，地球化学家就变成了勘探者，他指出在地壳的哪些地方可以找到铁和锰的矿石，说出在蛇纹岩当中的什么地方能找到铂的矿床，而且说明原因；他指示地质学家怎样在生成比较晚的那些岩石和山脉里去寻找砷和锑，并且预言如果那里不具备砷和锑富集的条件，就不可能找到这两种元素。

假如把一种化学元素的"行为"研究到家，像彻底了解某人一生的行为似的，那么这一切都是可能的，地球化学家不但能够知道这种元素的一举一动，还可以预测它在不同的环境下的动态。

这门新兴学科的巨大的实用价值，就在这里！

这样说来，地球化学是和地质学和化学携手并进的。

*　　　*　　　*

我不想举出大量的事实、例子和计算来折磨你们，也不愿意把地球化学上的全部知识一下子都教给你们。我只希望你们对于最近产生的这门新科学感兴趣，希望你们读过讲元素在整个宇宙里旅行的各章节以后，能够切实相信，地球化学还是年青的科学，它有极其广大的前途，而它也应该争取这个前途。

人们在科学思想界里跟在生活的各方面一样，不是一下子就赢得进步和真理的：一定要为进步和真理而斗争，要动员全部力量，要有极大的进取心和毅力，充分相信自己的正确性，确信自己会得到胜利。

取得胜利的不是空洞的、没有成效的、消极的思想，而只是战斗的、燃烧着寻求新事物的热情的思想，跟生活本身和生活目的紧密结合着的思想。

在苏联，摆在地球化学家面前的是一片无边无际供他们研究的国土。

我们还需要大量的事实，我们需要事实，用苏联伟大的科学家巴甫洛夫（И. П. Павлов）的话来说，正如为了维持鸟的飞翔而需要空气一样。

可是鸟和飞机之所以能在空中飞行，不但是由于空气自发的力量，首先还是由于鸟和飞机本身有前进和上升的运动能力。



青年地球化学家研究土尔克明尼亚共和国卡拉-绍尔凹地的露头

任何科学都是仗着这种

前进和上升的运动能力来立脚的：它所以能立住脚是由于顽强的、创造性的工作，由于大胆寻求新事物的热情，而这种对新事物的寻求同时又和对已有成就的冷静而清醒的分析结合在一起。

元素还远没有全部用到苏联的工业上，还得多多研究和顽强地工作下去，好让门捷列夫表里的全部元素都真正为劳动人民的利益服务。

我向青年工作者号召：前进，为掌握苏联的矿藏而努力!

看不见的世界，原子和化学元素

读者们，伸出手来。我带你们到平常不被理会的一个极小的世界里去。看，这是能缩小能放大的实验室。我们走进去，里面已经有人在等着我们：这人年龄还不算大，穿着工作服，看他模样也很平常，然而他是出色的发明家。我们且听他说：

“让我们走进一间小屋里去。这屋子是用特别材料建造的：一切射线，不管波长多长，都能通过，连最短的宇宙射线也透得过去。我将把手往右一转，我们的身体就会开始缩小。缩小的过程不太舒服，恰是随着秒表指针的转动而缩小的：我们的身体在每 4 分钟里缩小到 $1/10^3$。我们在小屋里站 4 分钟再走出去，那时候我们看周围的世界，就会像用最好的显微镜看到的那么清楚。然后我们回到小屋，把身体再缩小到 $1/10^3$。”

于是我们转动了把手……

我们的身体缩到像蚂蚁那样短……我们听声音已经和从前不一样了，因为我们的听觉器官对于空气里的声波已经失去调节的作用……我们听到的只是一些嘈杂、喧嚷、噼啪、沙沙的声音。可是我们仍然有看东西的能力，因为自然界里有 X 射

线，它的波长只有普通光线的 $1/10^3$。在 X 射线里看到的一切物体的形状都变得出乎意料之外：大多数物体非常透明，连金属也变成有鲜明色彩的、像有色玻璃似的物体……可是玻璃、树脂和琥珀却都变黑，看上去像是金属。

我们看见了植物的细胞，里面充满了一跳一跳的汁液和淀粉的颗粒，我们可以随便把手伸进叶子的呼吸孔里去；一滴血液里漂着许多像铜元那样大小的血球，结核菌的样子像是去了头的弯钉子……霍乱菌像一粒小豆，有一条尾巴动得很快……可是分子还看不见，只看见墙壁不停地颤动，我们的脸颊被空气打得有些儿痛，正像一阵风扬起尘土向我们迎面吹来的时候一样，这种情形告诉我们，物质分割的界限已经接近了……

我们又回到小屋，把把手往右再转一格。一切东西变成昏暗，我们的屋子也颤动起来，像是在地震。

我们恢复知觉的时候，小屋还是在颤动，而我们四周狂风怒号，还下着雹子：不知什么东西像豌豆似的不停地打在我们身上，又像是成千挺机关枪在向我们发射……

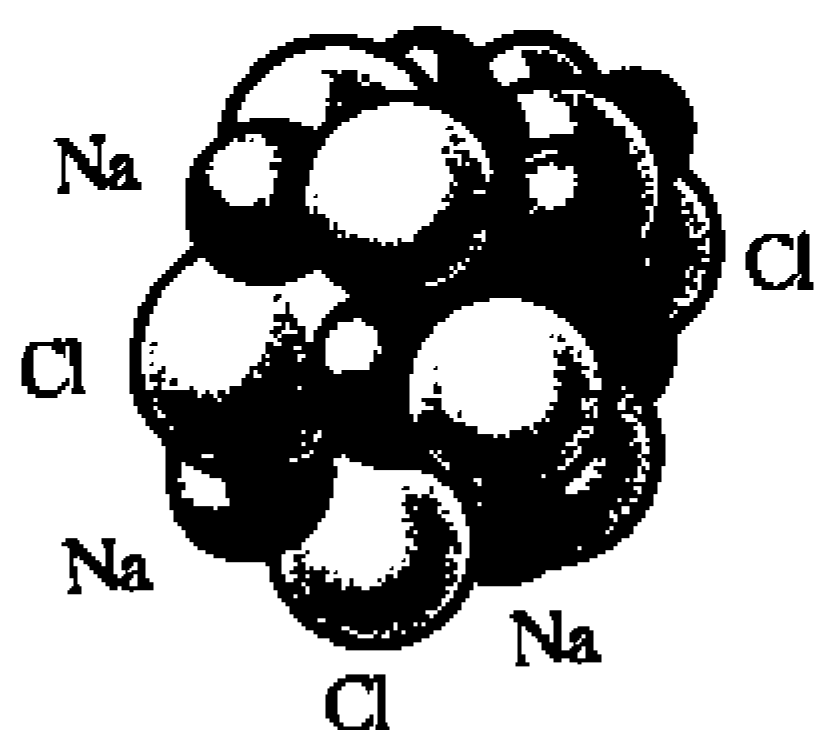
忽然向导对我们讲起话来：

“我们现在出去不得。我们的身体已经缩短到 $1/10^6$，我们的身长要用 $1/10^3$ 毫米(微米)去量：我们总共才长 1.5 微米。”

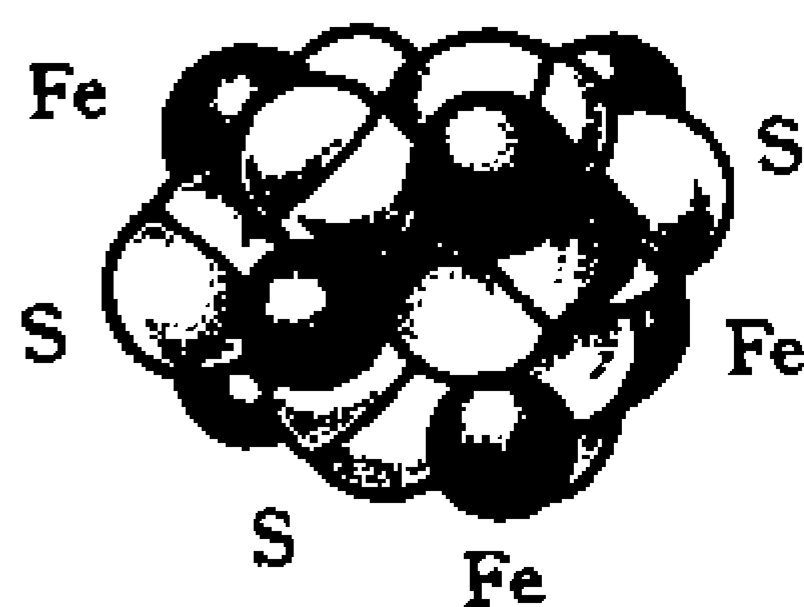
“现在，我们头发的粗细是 $1/10^8$ 厘米；这样的长度叫做 1 个‘埃’，是测量分子和原子的单位。空气里各种气体分子的直径大约等于 1 个埃。这些分子的运动速度极大，它们连续轰击着我们的小屋。”

“方才我们出到屋子外面，感觉空气像沙粒似的打在我们的脸上：那还是个别的分子对我们的作用。而现在我们变得更小了，那分子运动对于我们的危险，就像一个人浑身上下受着沙粒的飞打一样。”

“你们向窗外看一眼，就会看见直径 1 微米的小灰尘，就是说，灰尘差不多和我们现在一般大小。看，灰尘受到分子旋风般



岩盐 NaCl 的结构模型



黄铁矿 FeS_2 的结构模型

去。所以原子连同它周围的"不准侵入"的范围可以看成一个有弹性的球体，别的球体不能侵入那里去。每种元素各有不同大小的这种不准侵入的范围，这种范围的半径可以用埃做单位来表示。例如，碳的范围的半径是 0.19 埃，硅的是 0.39 埃，——这些范围是比较小的；铁的是 0.83 埃，钙的是 1.06 埃，——这些范围是属于中等的；氧的是 1.40 埃，算是比较大的范围了(参看 48 ～ 49 页间插页，图上的元素各按它们范围大小的比画成圆点)。

但是如果我们把许多球体随便放进一种容器，譬如放进一只盒子里，那么球乱滚开来，它们所占的容积会比整齐堆起来所占的大。把物体堆聚起来有各式各样的方法，容积占得最小的叫做最紧密堆积法。做到这一点是很容易的，例如可以做这样一个实验：拿几十个小钢珠(轴承珠)放在小碟子里，把碟子轻轻敲一下。因为所有钢珠都要往碟子中心滚，所以它们会紧紧靠拢在一起，很快就排成许多行，球心的连线彼此相交成 60 度角。从外面看，它们排成正六角形。这正是同样大小的球体在平面上的最紧密堆积法。

像铜、金等等好多种金属的原子，正是这样聚在一起的。

假如球体不一样大小，譬如有两种球体大小差得很远，那么大一号的球体(例如食盐晶体里的氯)往往聚得很紧，而比较小的原子就分布在大球之间的空隙里。

可见在食盐或岩盐 NaCl 里面，每个钠原子的周围给 6 个氯原子包围住，而每个氯原子的周围也有 6 个钠原子包围着。这时

候钠离子和氯离子间的吸引力最大。

就是这样，我们周围的一切物体，不管是多么复杂或简单，都是由一个个肉眼看不见的最小粒子——原子——结合而成的，就正像平常用一块块小砖盖成漂亮的大房子一样。

关于原子的思想，在远古时代就产生了，我们发现希腊的唯物哲学家琉息帕斯和德谟克利特早在公元前600～前400年间已经有了“原子”(希腊文的原意是“不可分的”)的概念。根据还是在19世纪创立的现代的概念，形成单质的游离态的化学元素，就是同一种原子的总和，这种原子再也分不开，至少就不失去这种物质的特征来说是不能再分了。

同种化学元素的原子在结构方面一模一样，有它们特有的质量，就是原子量。

20世纪初期，科学家知道地球上应该有92种不同的元素，也就是说，有92种不同的原子。到现在为止，这92种元素当中已经从天然产物里找到而且分出的有90种，也就是有90种原子，可是我们并不怀疑，没有找到的元素也一定存在的。我们所知道的自然界里的一切物体，便是由这92种原子配搭构成的。

不久以前，我们所知道的最重的元素是铀，它的原子序数是92。

近年来研究铀族元素蜕变的时候，又发现更重的所谓超铀元素：93号——镎、94号——钚、95号——镅、96号——锔、97号——锫、98号——锎、99号——锿[1]、100号——钲[2]。还可能有更重的元素存在，这也是并没有什么奇怪的。但是所有这些元素都极不稳定，而且非常少见，所以我们研究地球内部天然物体的成分的时候，可以认为一切物体都由92种元素构成，这是不会错到哪里去的[3]。

---

[1] 99号元素现名为锿（Es）（全书同）。——编辑注

[2] 100号元素现名为镄（Fm）（全书同）。——编辑注

同种元素的原子，或者是不同种元素的原子，两个两个地或更多地互相结合起来，可以生成各种物质的分子。原子和分子组合起来，就造成自然界各式各样的物体。原子和分子的数目应该是多得惊人的。例如，18 克的水里，就是所谓 1 个摩尔的水里，就含有 6.02×10^{23} 个水分子。

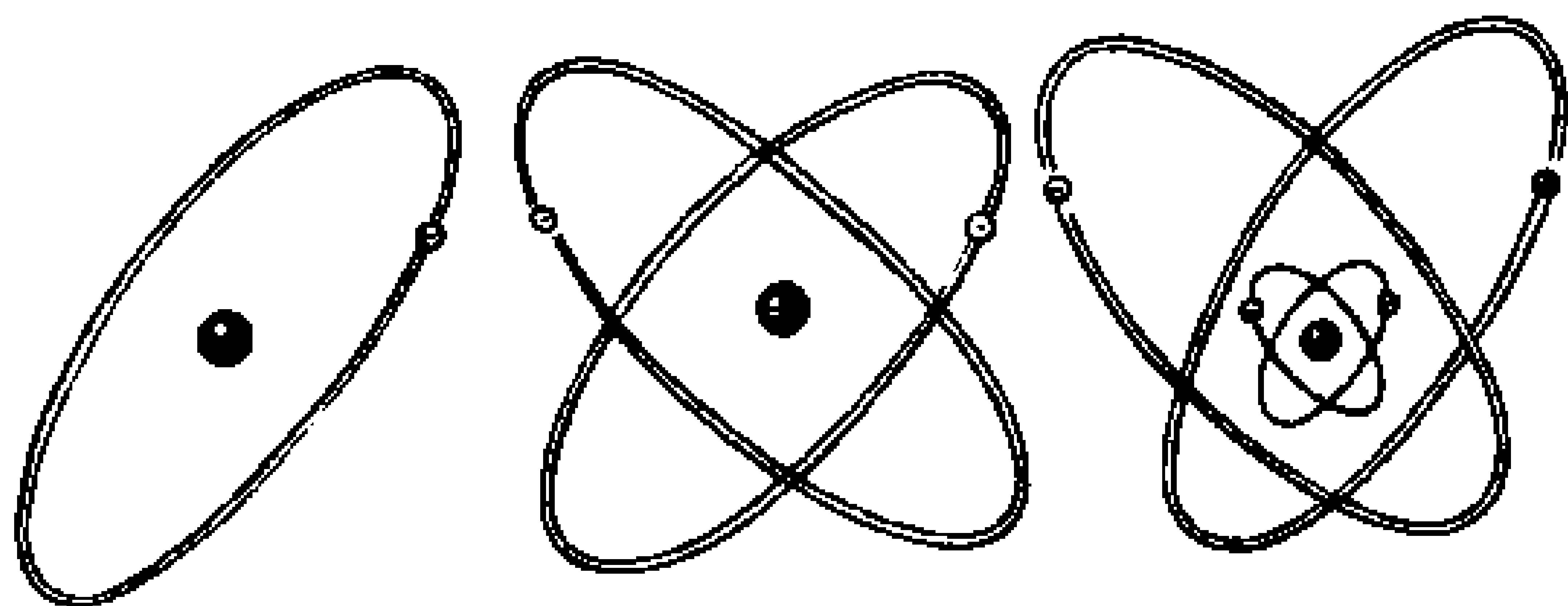
这个数目真是庞大，地球上从有植物以来所生的黑麦和小麦的粒数，也不过是这个数目的几千几万分之一。

为了对于分子的大小有一个概念，我们把它来和最小的生物——细菌——做一个比较，细菌只有在显微镜下放大到近 10^3 倍才看得见。最小的细菌的大小只有 $2/10^4$ 毫米。然而这个大小还比水的分子大 10^3 倍，这就是说：连最小的细菌体里也含有 20 亿以上的原子，这个数目比全世界的人口数目还大。

把 3 滴水里的全部水分子连成一根链子，几乎够从地球到太阳绕 3 个来回，因为这根链子长 9.4×10^8 公里!

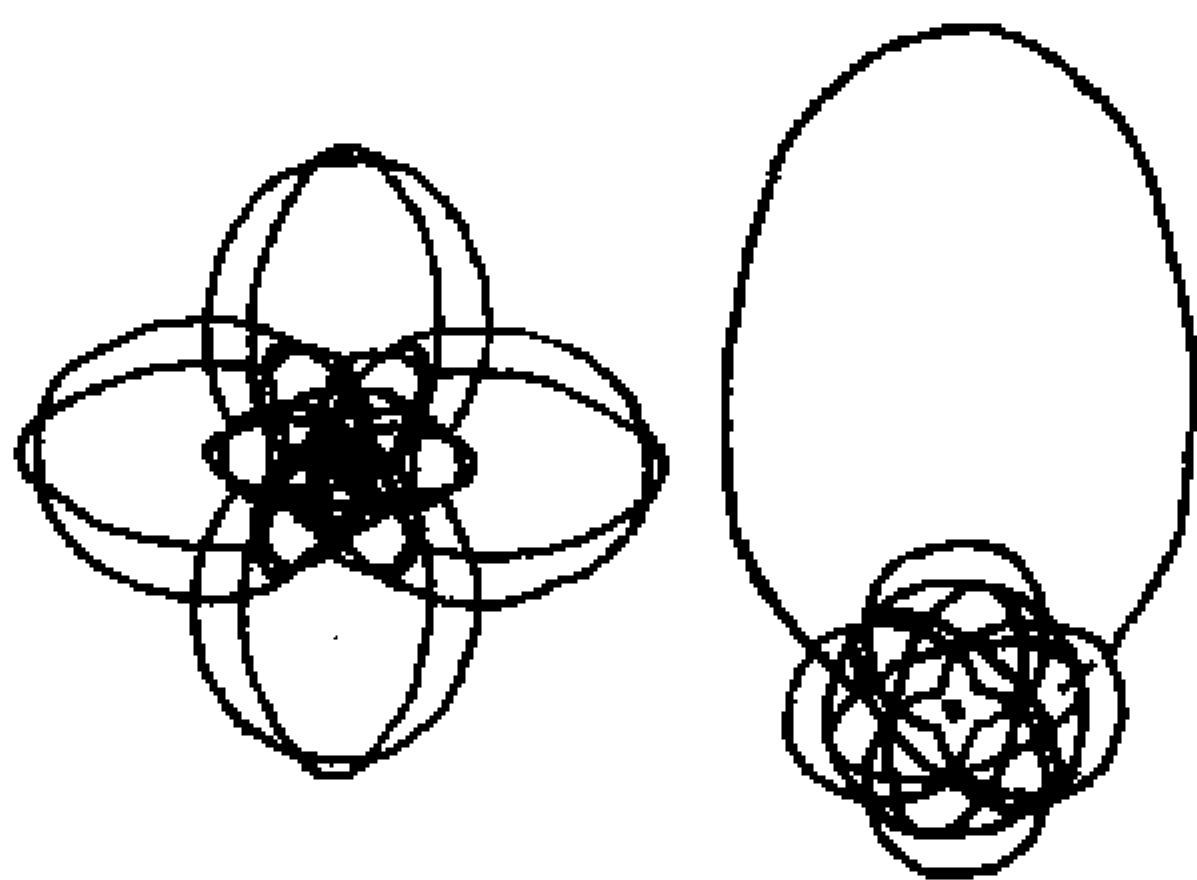
人们起初把原子想象为小到不能再分的粒子，可是后来进一步研究，随着研究方法的逐步改进和精确，逐渐明白原子本身就是一个极端复杂的结构。当人们认识了元素的放射现象而且开始研究放射现象的时候，才初次看清楚原子的本质。

每个原子的中心有一个核，核的直径大约是原子直径的 $1/10^5$。原子的全部质量差不多都集中在核里。核带正电荷，元素



氢、氦和铍的原子的结构。原子核在中心，核外的圈表示电子的轨道

[3] 截至 1998 年，已发现元素 109 个。——审读者注



氦和钠的原子的结构

越重，带的正电荷数也越多。绕着这个带正电荷的核旋转的是电子，电子的个数等于核的正电荷数，所以整个原子是电中性的。

所有化学元素的原子核都含着两种最简单的粒子：一种是质子，也就是氢的原子核，另一种是中子，中子的质量差不多和质子一样，可是它不带电荷。质子和中子在核里彼此结合得十分紧密，所以不论起什么样的化学反应和普通的物理作用，原子核还是丝毫不起变化，始终保持着稳定。

特别稳定的是两个质子和两个中子构成的氦原子核。氦原子核是那么稳定，连在重元素的原子里也好像含着这种现成的氦原子核，在重元素放射蜕变的时候就射出 α 粒子。

元素的化学性质是由原子外围的电子层的结构和性质来决定的，由它失去或者得到电子的能力来决定的。至于原子核的结构对于原子的化学性质几乎没有影响。所以，只要原子外围的电子个数一样，哪怕核的结构和质量也就是原子量都不一样，这些原子还是有相同的化学性质，可以并在同一个族里面，例如氯、溴、碘便属于同族的原子，另外还有类似的情形。

图示几种原子的结构模型。从这些图可以看出，随着原子量的增加，电子轨道也逐渐变得复杂起来。

我们周围的原子

请看这一章里3幅漂亮的插图。

第一幅上是一个山顶湖的绝妙景色，蓝色的平静的水面，周围是石灰岩的断崖，那些墨绿色的斑点是一些孤立的树木，而高空还照耀着南方明媚的阳光。

第二幅上是一个冶金工厂，它一天到晚轰轰地响着，笼罩着烟和蒸汽，冒出红色的火焰——这是苏联技术的奇迹，是整整一代的建设的人们的骄傲；一列列火车载着矿石、煤、熔剂和砖头，像长蛇一般地向工厂开去，而从工厂载出的是成百吨的钢轨、钢块、铸锭、钢材，运往新的工业中心去。

第三幅上是漂亮的“吉斯110”型汽车，两旁深绿色的喷漆闪着光亮，102.97千瓦的发动机轰隆轰隆地响着，无线电收音机播送着悠扬的歌曲。这部漂亮的汽车是由3000种零件在工厂里的长长的输送带上装配成功的，它走个几十万公里不算回事!

你们看过这3幅图，老实告诉我你们的想法，你们对于这些图里的哪些地方感到兴趣，你们有什么问题要问。

我猜你们的想法和你们的问题是：因为你们就生在技术和工业的世纪，你们感觉兴趣的是机器产生力量，而力量又产生机器。

可是我所要对你们讲的完全是另一回事，我想让你们用另外一种眼光来看这3幅图画。请听我说。

* * *

“这湖里隐藏着多少奇妙的地质学上的问题啊!”地质学家对我说，“这块又大又深的洼地是怎么形成的呢，什么东西把这片蓝色的水拦蓄在塔什克山岭上陡峭的断崖当中呢?要知道从山



塔吉克斯坦的山顶湖

顶到湖底有二三千米；什么样的巨大力量能使岩层隆起产生褶皱呢?”

“形成断崖和山岭的是多么美妙的石灰石啊!”矿物学家说，“需要多少万年甚至几十万年才能在海底由淤泥、介壳、贝壳、甲壳堆成这样庞大的冲积物，然后压缩成那样结实的石灰石，差不多压缩成了大理石!你拿普通放大到10倍的矿物放大镜，也可以勉强看得出构成岩层的一个个闪亮的方解石晶体。”

“而且这里的石灰石是多么洁白纯净啊!”工业化学家插进嘴来说，“你知道，这是水泥工业和煅烧石灰的最好原料，——它差不多是纯粹的碳酸钙，是钙原子、氧原子和二氧化碳的化合物。你们看，我把它放在弱酸里，碳酸钙就溶解了，二氧化碳却发生嘶嘶的声音跑到空中去了。”

“可是实验还可以做得更加精确，”地球化学家说，“用分光镜来检查，可以证明这石灰石里还有别种原子：锶和钡、铝和硅的原子。而如果分析得精而又精，打算测出含量在$1/10^8$以下的极其稀少的原子，那么还可以发现它含有锌和铅。”

“但是别以为这是这里石灰石的特性：有经验的化学家算过，连世界上最纯粹的大理石也含有35种不同的原子。”

“现在我们甚至于在那么想：1立方米的任何石块——不论是花岗石、玄武石、石灰石，或者黏土可以在它里面找出门捷列夫表里的全部元素，只是有几种元素的含量只有钙或碳的$1/10^{18}$。”



冶金工厂

地质学家、矿物学家、化学家和地球化学家说的话是多么吸引我们，原来矗立在我们面前的不是什么简单的浅灰色石灰石，而是某种莫名其妙的岩石构成的断崖；我们禁不住想钻进深处去看看它的本质，去发掘它的生活和起源的秘密。

*　　*　　*

现在我们来看工厂。看它建筑的规模和样式是多么新奇，多么不平常!巨大的塔似的高炉，里面装满矿石、焦炭和石块；粗大的管子伸到炉子里，送进去压缩的热空气。那是做什么用的呢?炉子里面铁在熔化，焦炭在燃烧，一团团灼热的气体喷出来发着红光，这是怎么一回事呢?

假如我告诉你们这是原子实验所，你们一定觉得奇怪：矿石里的铁原子被比它大的原子——氧原子抓得很紧，氧原子不让铁原子自己聚在一起，给我们生产出可以锻打的重金属——铁……而铁矿石和铁在性质方面一点也不一样，尽管这矿石含铁70%。所以应当把氧赶出去，但是这件事情做起来不那么简单!

读者们知道阿辽努施卡的故事吗?她要从一堆谷粒里拣出所

有的沙，就把她的蚂蚁朋友请了来，由蚂蚁顺利地完成了这件困难的工作。而你知道沙的直径远比氧原子的直径大 100 万倍呢！

*“真是难办，未必办得到吧”，你们会这样说。的确，要解决这*个难题，得花费好多精力。

但是这个难题到底还是解决了！

人的天才在这里不是请蚂蚁来帮忙，而是请别种物质的原子来帮忙。人和自然的力量——火力和风力联合起来，共同强迫这些原子硬把氧从铁里抢走，让它们跟着热空气冒到炉里熔化的铁的上面。

那么打败了氧的那个朋友，是什么物质的原子呢？是两种物质的原子——硅原子和碳原子。它们俩紧抓住氧，比铁抓得更紧，和氧构成结实的“建筑物”。而且它们俩是互助的。碳一燃烧，抢走了氧，同时造成很高的温度；可是单靠碳还不顶事，因为铁的矿石很硬，很难熔化，不容易流动，所以碳原子钻不进紧密的矿石块的内部去。

于是硅赶来帮忙：它短小精悍，生成容易熔化的矿渣，让矿石熔化，把氧抢过来交给碳。有一部分碳溶解在铁里，使铁变得能够流动，容易熔化。

这时候在场帮忙的还有火力这种自然力，它使炉子里的全部物质活动起来，所有轻的东西都和气体一齐漂到上面，所有重的东西都沉到下面，现在在我们面前出现了奇迹：原子分家了——铁和溶解在铁里的碳沉在炉底，而比较轻的矿渣却带走了矿石里全部的氧，漂浮在熔化的铁的面上；矿渣可以往工人指定的地方倒出去……

得积累多少知识，得把每种原子的脾气和嗜好摸得多准，才能大规模地和没有错误地来把所有原子按着人们的意志来区分开啊！

* * *

现在看第三幅图吧，这是苏联造的“吉斯 110”型汽车。它



莫斯科斯大林工厂制造的“吉斯 110”型轻便汽车

也是好几种原子配搭起来的，选择这些原子的唯一目的，就是要造成一辆不怕累的、有力的、走起来不出声的而且很快的汽车。

由 65 种原子和不下 100 种金属和合金造成的 3000 种零件——这就是“吉斯 110”！它用的铁很多，可又不是同一种铁，这些铁的性质是千变万化的：这是铁和 4% 的碳的合金，叫做铸铁，发动机体便是用它铸造的。而那种铁里含的碳比较少，那是坚硬而有弹性的钢。这又是一种铁，里面羼杂着和铁原子性质相似的锰、镍、钴、钼 4 种原子，——这种钢有弹性，很坚韧，一点也不怕敲打。铁里添上钒，——这种钢像马鞭子那样柔韧，不知道疲乏的弹簧就是用它造的……

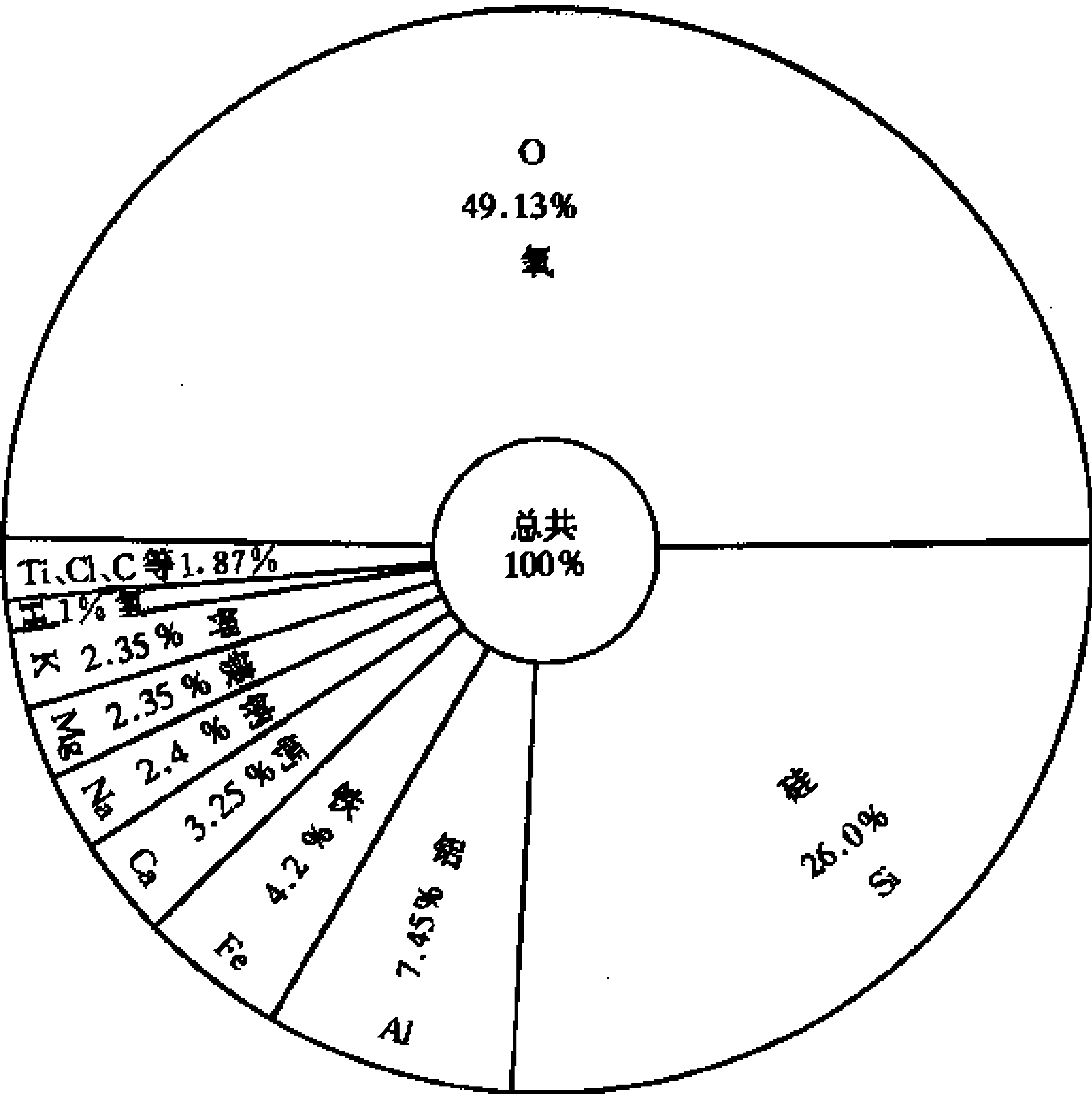
在汽车的构造上占第二位的，现在已经不像以前那样是铜而是铝了——活塞和把手、好看的车身、车顶和踏板——这一切都可以用轻金属制造，可以用铝或用铝和铜、硅、锌、镁等的合金来制造。

还有，火花塞里用的最好的瓷；不怕雨不怕冻的喷漆、呢料、电线里的铜、蓄电池里的铅和硫……一句话，没有一种元素

落后，没有一种元素不坐着汽车跑的。这些元素互相配搭起来，造成 250 种以上各式各样的物质和材料，来直接地或间接地供给汽车工业使用。

特别要强调一下，人们在这里是在违反和破坏自然界的变化过程，是在强迫自然界的变化过程顺从人们的意志。拿铝来说，难道它本来就是游离的吗？决不是的；要没有人的天才的话，地球上永远也看不见有游离的铝，哪怕地球再活个几十亿年也好。

人们彻底了解了原子的性质，然后利用这种知识来按照自己的需要使元素移动位置。地球上分布最多的是轻元素；地壳



地壳（到 16 公里深）里各种元素的含量（质量百分数）

有90.03%是由氧、硅、铝、铁、钙5种元素构成的。假如再添上7种元素——钠、钾、镁、氢、钛、碳、氯，那么这12种元素共同构成地壳的99.29%。剩下的80种元素的质量加起来也只有0.7%。但是人们对于分配给他们的这些元素并不满足：他们还在顽强地寻找比较少见的元素，有时候要经过种种想不到的困难才把这些元素从地底下取出来，研究它们各方面的性质，在必要和合适的时候利用它们。你们看，造汽车不就用得上镍、钴、钼，甚至于用铂吗?然而镍在地壳里才占 $2/10^4$，钴占 $1/10^5$，钼占不到 $1/10^5$，而铂还只占 $12/10^{11}$!

到处都是原子，——而人就是原子的主人!人伸出有权力的手来拿起它们，把它们混在一起，把用不着的扔掉，用得着的叫它们化合——假如没有人，这些元素一辈子也凑不到一块儿。如果说，塔吉克斯坦的山顶湖是在歌颂着耸起断崖和造成洼地的强大的自然力，那么工厂和汽车便是工业交响曲，是在歌颂着人的天才的威力，歌颂着人的劳动和知识。

原子在宇宙里的诞生和动态

我想起一个夜景，是克里木的寂静而悠美的夜景。整个自然界仿佛已经入睡，没有什么东西惊动平静的海水。连黑暗的南方天空上的星星也不眨眼，却射出鲜明的光辉。四周鸦雀无声，全世界像是停止了运动，凝结在南方夜间的无尽的寂静里。

可是这幅景色和实际情况相差多么远，我们周围自然界的那种安定寂静是多么不真实啊!

你只要走近无线电收音机，轻轻转一下它的旋钮，你就会相信有许多飞跑着的电磁波在穿越全世界。它们的波长有的几米，有的几千公里，它们汹涌地升到高空的臭氧层，又折回地



克里木的夜景，阿卢普卡海岸

面。它们彼此重叠着，用人的耳朵听不到的振动充满全世界。

而星星呢，看着像是那么牢靠地在天空里钉住不动，其实也是在宇宙空间里飞驰着，它们的速度叫人头晕，每秒钟走几百几千公里。这些星星里面有一个是太阳，它带着我们眼睛看不见的一大群天体，向着银河的一边运动；有些星星用更大的速度旋转着，卷成巨大的星云；还有一些星星向着还没有人知道的宇宙空间跑去。



1900 年 5 月 28 日日蚀的时候太阳面上的日珥。白圈表示用同样比例尺画的地球的大小；地球的直径是 12 750 公里

太阳四周灼热的物质变成蒸气，蒸气用几千公里每秒的速度冲上去，几分钟功夫就生成好几千公里高的一大股一大股气流，变成太阳周围的日冕里闪烁着的日珥。

离我们非常遥远的星体的内部深处，也有熔化的物质在沸腾着。那儿的温度高到好几千万摄氏度；小粒子彼此分开了，原子核分裂了，电子流跑到星体的上空，汹涌的电磁波穿过千百万以至几十亿公里的距离来到我们的地球，扰乱地球大气的安静。

整个宇宙都在动荡不定，大约在公元前100年，有一位伟大的学者琉克理细阿说得恰到好处：

> 不用说，那些原始的天体，
> 在辽阔的空间到处得不到安息。
> 相反地：它们不断做出各种运动，相互追赶，
> 有一部分彼此碰撞而远远飞散，
> 有一部分却分散在相离不远的地方。

我们的地球也是活着的。它仿佛是寂静的，是无声无息的，其实它的全部表面上都充满着生命的活动。每1立方厘米的土壤里都有千百万个微小的细菌。显微镜扩大了研究的范围，发现了更小的微生物居住的新世界，不断地运动着的过滤性病毒的世界，于是引起了争论：这种过滤性病毒算是生物呢，还是无生物界珍奇的分子？

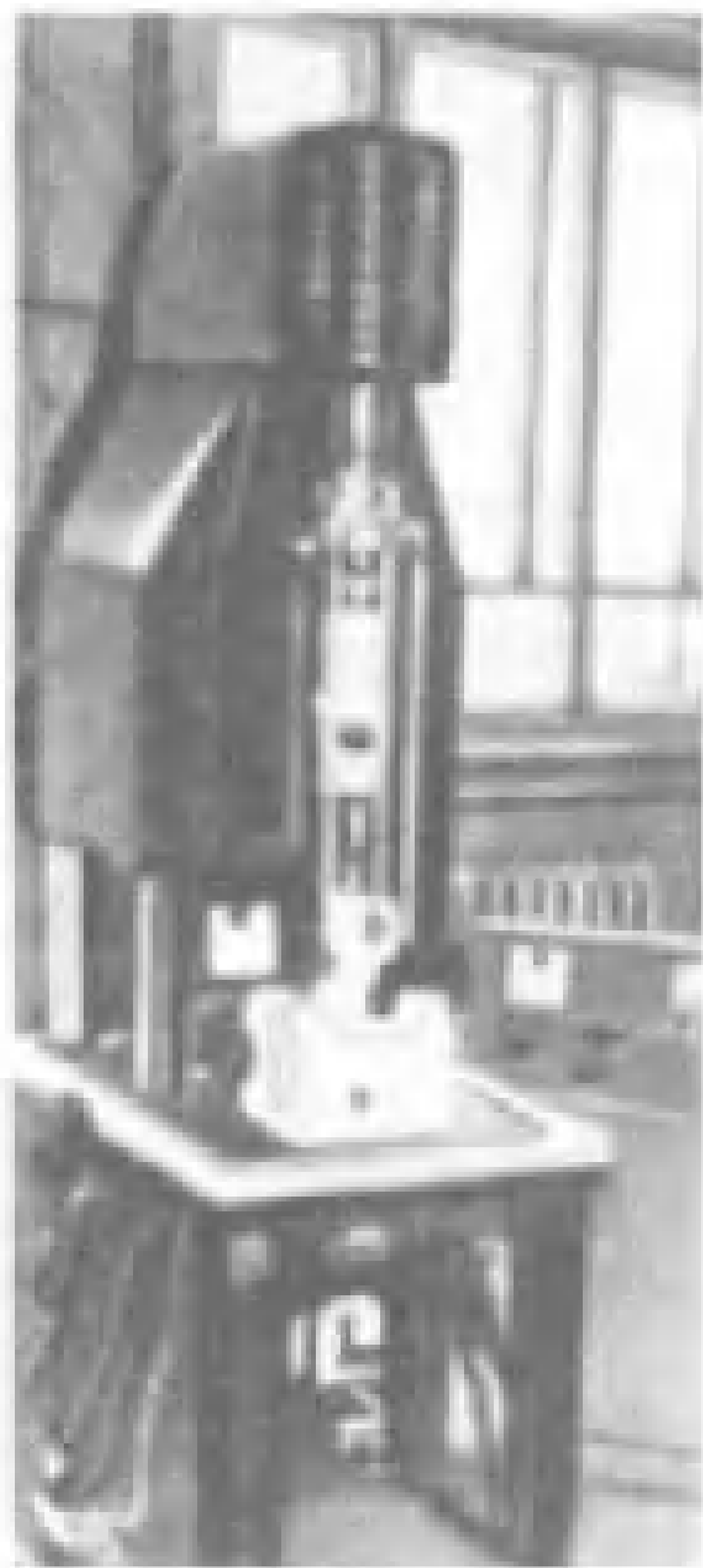
在海水的热运动里，分子也永远在移动，据科学分析，海水里分子的振动路线很长很复杂，运动的速度是每分钟好几公里。

空气和地球之间也永远在交换着原子。氦原子从地下深处发散到空气里；它的运动速度是那么大，以至它胜过了地心引力，一直飞到行星际空间。

流动着的氧原子从空气钻进有机体里；二氧化碳分子被植物分解而造成碳的不断的循环；而在地下深处，还有重岩石熔成的

火热的熔岩，它们沸腾着想冲到地球的面上来。

我们面前放着一块纯净而透明的晶体，它很坚硬，静静地一动也不动。仿佛晶体里有许多固定不动的小格子，而晶体的一个个原子便是严格地固定在格子的交点上的。其实这只是仿佛是这样：原子还是在经常地运动着，它们在各自的平衡点周围颤动着，不断地互相交换电子，它们的电子忽而像金属原子的电子似的离开，忽而又结合起来顺着复杂交错的轨道运动。



能放大到50万倍的电子显微镜

我们周围的一切没有一个是死的。克里木的寂静的夜景是不真实的；我们的科学越是能控制自然界，那么我们对于周围世界的物质的运动情况就能剖视得越真切。现代的科学已经可能把几百万分之一秒里的运动测量出来，它能利用新的X射线来测量几百万分之一厘米，那种精确的程度不是我们的尺量得出来的，它又能把自然界的景象放大到20万～50万倍，因而使我们的眼睛不但能看见极小的过滤性病毒，而且能看出物质的单个分子，这一切都表明，这个世界再也不是什么平静的世界，而纯粹是各种不停的运动错综在一起，各自在寻求暂时的平衡。

从前很早的时候，还在古希腊兴盛起来以前，小亚细亚的岛上出过一位著名的哲学家赫拉克利特。他有先见之明，他早把宇宙看得非常透彻，他说过一句话，后来赫尔岑（Герден）[1]把他这

[1] 赫尔岑是19世纪俄国文艺批评家 ——译者注

句话叫做人类史上最有天才的至理名言。

赫拉克利特说:“一切都在流动”,他拿永恒运动的思想做自己对于世界的看法的基础。人类正是具备着这种思想来度过自己历史上的各个时期的。琉克理细阿根据这种思想在他的关于万物的本质和世界的历史的有名诗句里创立了他的哲学原理。俄罗斯天才的科学家罗蒙诺索夫(M. B. Ломоносов)根据这种思想用少有的远见创立他的物理学,他说自然界里每一个点都有3种运动形式:前进的,旋转的,摆动的。今天,科学上新的成就已经证实了古代哲学上的这个概念,所以我们更应该用新的眼光来看我们周围的世界,来看物质的规律。

各种原子分布的规律,在我们看来,一定就是那些不同速度、不同方向和不同规模的无限复杂的运动的规律,由于这些运动而决定了我们周围世界的形形色色,决定了在我们周围世界里动荡不定的各个原子的形形色色。我们现在要用新的方法去理解我们周围辽阔的空间。

能供我们观察到的那部分宇宙的范围是广大非凡的。我们不能用公里去量它,这个单位太小了。就拿太阳和地球间的距离 1.5×10^{9} 公里来说吧,虽然光每秒钟可以绕地球7周半,也需要 $8\frac{1}{3}$ 分钟来走完这个距离,然而即使拿太阳和地球间的距离来做长度的单位还嫌太小。科学家想出了一个特别的单位,叫做“光年”,就是光在1年里所走的距离。最好的望远镜可以辨认许多星体,这些星体发出的光要过千百万年才能到达地球……其实宇宙是无限的!而我们现在观察宇宙受到限制,只是因为我们的望远镜还不够完善……

一团团星际物质在宇宙空间的一个个地方凝结起来,就生成我们所说的“星协”。这类星协大约有 10^{12} 个。每个星协也差不多有 10^{12} 个星,每一个星又含有 10^{57} 个质子和中子——就是构成整个宇宙的那些小粒子,而更小的带电的小粒子,就是带着负电荷的电子,还不算在内。

在宇宙空间里最多的是氢。我们知道，好多星云的成分里几乎只含氢一种。氢原子受了万有引力的作用，也受了原子间一种特别的力的推动(关于原子间的这种力现在刚刚开始研究)，就聚集起来。于是产生了很大的一团团的原子，里面含的原子的个数要用 56 位数字来表示，——这就出现了星。但是宇宙比起产生的一团团的原子来大得无可比拟。我们知道，宇宙空间的大部分好像实在是空的，每 1 立方米只有 10 个或 100 个物质的小粒子——原子，所以那里的压力只有地球上 1 个标准大气压被 1 后面加 27 个零去除那样小(约 1.013×10^{-22} 帕)。我们可以从这样稀薄的宇宙空间想到另一个空前密实的空间，那里所以这样密实是由星体深处的压力引起的，星体深处有几十亿大气压的压力，再加上几千万或几亿摄氏度的温度；而那里也正是大自然的实验室，由氢原子变出新的比较重的好多种原子，首先是氦原子。

有些星星发出非常亮的白光，例如著名的天狼星伴星，构成这星的物质有这样密实，它的质量是同体积的金和铂的 10^3 倍。我们简直很难想象这种物质究竟是什么东西，它的性质又怎样。



大熊星座里的 M 101 星云

一方面是无限大的行星际空间，只有单个的原子在自由飞行。这里宇宙的静止和急速的运动辩证地交织在一起，这里的温度几乎是绝对零度。

另一方面是星体的中心部分，那里是千百万摄氏度的温度加上千百万大气压的压力，那里的原子克服了电子的排斥力，聚集成一整块极其密实的

物质，这样密实的物质在地球上是从来没有看到过的。化学元素便是在这种条件下演变出来的，星体越大，它内部的压力和温度越高，那么产生的元素就越重，越结实。

产生的化学元素是反对宇宙混沌状态的斗争的第一个环节。在极高的温度和压力的条件下，游离态的质子和电子可以形成比较重的原子核。

按照这种情形，各个地方逐渐造成不同的结构，就是我们所谓化学元素。有些元素比较重，储藏的能量比较多；另外一些比较轻，总共才含有几个质子和中子。这些比较轻的元素在星体的周围、星体的大气层里流动，或者聚成巨大的星云。另外一些不太活动的元素，却留在灼热的或熔化的星体表面上。

很强烈的放射作用会破坏一些结构，造成另外一些结构；这种作用的强大的力量会破坏稳定的原子核，结果有些元素分裂了，另一些元素生成了，这种变化一直继续到新生成的原子离开这种力量的作用范围为止。各种原子在宇宙里的旅行史就在这时候开始了。有些原子，像钙和钠的原子，充满在行星际空间，它们可以随便在整个宇宙空间里飞行。还有一些原子比较重，比较稳定，它们聚集在星云的某些部分里。温度一降低，原子的各个电场彼此连成一片，于是生成简单的化合物分子：碳化物、碳氢化合物、乙炔的小粒子，以及地球上没有见过的某些物体，这些化合物都是原子结合的最初生成物，是天体物理学家在观测遥远星体的灼热表面的时候发现的。这些游离的简单分子，逐渐形成越来越整齐的系统。在低温的条件下，不在破坏势力范围之内，而且不是在星体内部深处，那么就产生构成宇宙的第二个环节——晶体。晶体是奇异的建筑物，原子在它里面排列有一定的规矩，就像四方块的东西装在盒子里一样。晶体的产生是物质从混沌状态里跑出来的第二步。要形成 1 立方厘米的结晶物质，需要有 1 后面带 22 个零的原子结合起来。晶体显示出新的性质——晶体的性质。晶体从原子产生，但是对于晶体，再也不能用那些

原子里的规律去支配，不能用现在还不清楚的原子核能的规律去支配，而是要用新的物质的规律——化学上的各种规律去支配。

我不再描写这幅景象了。我只想说明，我们对于自己周围的世界知道的还不多，世界是非常复杂的，它的静止只是看起来是这样罢了，其实它里面充满着运动；世界上的物质便是产生在运动的旋风里，产生出来的物质的样式正像我们在地球表面上所认识的那样，正像我们在周围自然界的硬石块里所见到的那样。我前面讲过的那些，有许多已经由现代的科学证实了，但是关于怎样从混沌状态里先产生原子而后产生晶体，还存在许多莫名其妙的问题。

然而这幅景象，早在 2000 年前便由罗马哲学家琉克理细阿描绘清楚，这真是多么值得惊异啊！我们再来回忆一下他的另几行诗句：

原始的时候只是一片混沌和暴风，
一切的开端都是没有秩序地乱哄哄，
在混乱的交战里产生了
空隙、路线、结合、吸引、冲撞、相遇和运动。
因为它们的形状样式不相同，
大的和小的互相冲散，各奔西东，
它们之间的运动毫无规律，
性质不同的部分彼此分散，
相同的部分联合占据一部分世界，
然后在这世界里发展、合作和分工。

可见自然界是没有静止的：一切都在变化，虽然变化的速度各不相同。石头是稳固的象征，可是它也在变化，因为组成它的原子是在永恒运动的。我们看石头好像是稳固而不活动的，那只是因为我们看不见这种运动，要经过很长的时期才能感觉出石头

变化的结果，而我们本身的变化却比它快得不知道多少倍。

以前曾经长期认为只有原子才是不可分的，不起变化的，是跟永恒变动不相关的。其实不对，原子也得听时间的话。有一部分原子就是我们所谓有放射性的，它们变得快，其余的变得慢些……再说，现在我们知道原子也是在演变的，它们在炽热的星体里生成，发展，死亡……

而人的理智也是在反映那种永恒运动和发展的过程：起初是不了解，糊涂，混乱。然而后来就渐渐看清楚世界上各部分联系的类型，知道运动是合乎规律的，于是产生对于宇宙严整的统一的认识……而现代科学给我们揭示出来的世界也正是这样。

门捷列夫怎样发现他的定律

在彼得堡大学化学实验室那所老房子里，坐着一位年青而已经出名的教授，他就是门捷列夫。他是刚开始担任大学普通化学的教授，他正忙着给学生编写讲义。他在研究用什么样的方式方法来解释化学的定律和叙述各种元素的历史最合适，他在苦想着应该怎样讲。讲到钾、钠或锂，讲到铁、锰和镍，怎样联系起来讲呢?他已经感觉到，有几种元素的原子之间是有某些还没有完全明了的联系的。



门捷列夫(1869 年)

他拿出几张卡片来，每张上面用很大的字母写上一种元素的名称，它的原子量，和它最重要的几

点性质。然后他开始排列这些卡片，依照元素的性质来把它们整理分类，就像老大娘晚上玩纸牌把纸牌分成一堆一堆似的。

就在这时候，这位教授看出了一种奇妙的规律性。他把所有元素按照原子量递增的次序排成一排，他觉得除去少数例外，元素的性质经过一定的间隔以后又重新出现。于是他把后来性质重新出现的那些卡片另列一排，算做第二排，放在第一排的下面；第二排排上了 7 张卡片以后，接排第三排。

这样已经排好 17 个元素，凡是性质相似的都上下对齐着，可是也有性质不完全相似的，不得不另外留起一些位置。接着往下又排了 17 张卡片，排出了下面几排。再往下排就比较复杂，好多元素完全不愿意归队，可是性质重复出现这一点还是看得很清楚。

门捷列夫所知道的元素就这样完全排进去了，排成了一张特别的表，表里除去少数例外，全部元素都是依照原子量递增的次序一个接一个地横排下去，凡是性质相似的元素都上下对齐着排成直行。

1869 年 3 月，门捷列夫把他发现的规律写了初次简单的报告，送给彼得堡的理化学会。后来他预见到他的这个发现的重大意义，便在这方面下起苦功夫来，把他的表修正得更加精确。不久他确实知道，表里一定要留出空位。

“将来在硅、硼、铝下面的空位里一定会发现新元素。”他这样说道。他的预言很快就证实了，这 3 个空位里放进了 3 个新发现的元素，叫做镓、锗、钪。

俄罗斯化学家门捷列夫便是这样作出了化学史上最了不起的发现。但是朋友，你不要以为这个发现就是这么简单——拿些卡片来，写上元素的名称，把它们排起来——于是一切就都整齐了！这只是看起来好像简单，只是看起来好像有些碰运气。要知道那时候发现的元素总共才 62 种。原子量还测定得不够准确，有一部分还是错误的，原子的性质也没有研究得好。所以一定要

深人探索每一种原子的本性，懂得这些元素和那些元素的相似的地方，识透每一种原子的旅行路线，辨别它们在这个地球里是“友”是“敌”，才能得到这样的成就。

所有这些问题，都是门捷列夫以前的人在研究地球的化学的时候遇到过的，现在由门捷列夫把它们结合起来了。

元素之间的相互关系，有几位别的科学家也已经看出来了，固然这种关系还不清楚，还不完全。

但是当时大部分科学家认为，替元素找什么亲属关系，那简直是荒谬的想法。例如，有一位英国化学家叫纽兰兹，曾经在加里波的军队里为意大利争取自由作过战，他要求发表一篇文章，

门捷列夫在 1869 年排成的元素周期表

（据原子量和化学性质排列）

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104.4	Pt = 197.4
			Fe = 56	Ru = 104.4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pl = 106.6	Os = 199
H = 1			Cu = 63.4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9.4		Mg = 24	Zn = 65.2	Cd = 112
	B = 11	Al = 27.4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79.4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35.5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85.4	Cs = 133	Tl = 201
		Ca = 40	Sr = 87.6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75.6	Th = 118?		

门捷列夫在 1869 年最初排成的元素周期表



门捷列夫

讲的是某些元素的性质随着原子量的增加而重复出现，当时的英国化学会拒绝采用他的文章，而另外一个化学家甚至嘲笑说，如果纽兰兹把所有元素按着它们名称的字母顺序排下去，或许会得出更妙的结论。

然而这些毕竟是局部的意见。该做的是无比大事：应该制定统一的计划，发现自然界的基本定律，用事实来证明这个定律是放之四海而皆准的，证明每一种元素的性质完全照这个定律所说的，所有元素都服从这个定律，可以从这个定律推出元素的性质。

要这样做，就需要有天才的直觉，要善于察觉矛盾的普遍性，要用坚韧不拔的精神来研究一切具体的事实。这件事情只有像门捷列夫那样的思想的巨人才能办到。

门捷列夫想出了自然界全部元素的相互关系，他想得那么清楚、透彻而又简单，任何人也推翻不了他的元素系统。他把元素有条有理地整理出来了。固然，元素之间的关系还不明确，可是整个的排列次序是那么明显，所以门捷列夫已经可能说出自然界的新定律——化学元素的周期律了。

从那时候到现在已经80多年了。门捷列夫差不多在周期律上下了40年功夫，他在实验室里把化学的秘密追究到最深奥的地步。

他在他后来领导的度量衡检定局里，用最精密的方法研究和测定了金属的各种性质，他发现一切都是越来越确凿地证实

他的周期律。

他到乌拉尔去研究当地的富源，他把好几年的时光用在研究石油和石油起源的问题上，不论在实验室里或自然界里，他到处看到周期律的有力的证据。不论在深奥的理论上或者工业上，周期律都起了指南针的作用，像帮助航海家指明航行方向似的在替科学家和实践家指点着研究的方向。

门捷列夫临死以前，把他 1869 年排好的小表一再研究修正，使它更加完善。数名化学家循着他的天才的道路前进，有的发现了新的元素，有的发现了新的化合物，他们逐渐体会到门捷列夫表的含意的深远。

我们现在所见的门捷列夫元素周期表，已经是新的、完善的了。

后来还知道，门捷列夫的表对于研究原子光谱结构的规律性，也是极好的指南。英国青年物理学家莫斯莱在研究元素光谱的时候，把元素按照门捷列夫表的顺序排下去，结果他在 1913 年完全意外地发现了这个表的另一个规律性，他肯定了表里面原子序数的重大作用。

莫斯莱证明原子里面最重要的是原子核的电荷数，这数正好等于这个元素的原子序数。例如，氢的原子序数是 1，氦的是 2，而锌是 30，铀是 92。而且有和原子序数同数的电子被这些电荷吸住在核外，顺着轨道绕着核旋转。

任何原子，它核外的电子个数一定等于它的原子序数。原子的全部电子在核外按照一定的方式分布成一层层。离核最近的第一层 K 上，在氢原子是 1 个电子，而在所有别的元素的原子是 2 个电子。在第二层 L 上，大部分原子有 8 个电子。第三层 M 上可以多到 18 个电子，第四层 N 上可以多到 32 个电子。

原子的化学性质主要由最外层电子的结构来决定，如果这层上有 8 个电子，那么它就特别稳定。假如最外层电子只有一两个电子，那么这一两个电子很容易失掉，这样原子就易变成

离子。例如，钠、钾、铷的最外层上各有1个电子。它们容易失去这个电子而本身变成带正电的一价正离子。这时候次外层成了最外层。这层上有8个电子,所以生成的离子就稳定下来,不再起变化。

钙、钡和别的碱土金属的原子，最外层上各有2个电子，它们一失掉这2个电子，自己就变成稳定的2价正离子。溴、氯和别的卤素的原子，最外层上各有7个电子，它们迫切地要从别的原子的外层上夺取1个电子，一旦夺取到手，它自己的外层就补足到8个电子，于是它本身就成了稳定的负离子。

凡是原子的最外层上有3、4、5个电子的，这类元素在化学反应里生成离子的趋势就表现得不太明显。

元素的原子量和它在自然界里分布的多少，是由原子核的结构来决定的。但是化学性质和光谱却是由电子个数的多少来决定的；假如它们最外层电子的结构一样，那么它们的化学性质就十分接近。

原子的秘密不外乎这些。自从发现了原子的秘密，所有化学家、物理学家、地球化学家、天文学家、技术家、工艺家全都明白，最奥妙的自然界定律之一就是门捷列夫的周期律。

今天的门捷列夫元素周期表

研究家想出了好多不同的方法，打算把门捷列夫表的特点表现得更清楚更醒目。

他们在不同的时期里把门捷列夫伟大的定律画成了各种样子：有的画成了纵横的条带，有的画成了在平面上旋卷的螺旋，有的画成了复杂交错的弧和线。

我们还是讲一讲现代的科学对于这表的画法。

索第画的门捷列夫元素周期表(1914 年)。同一横线上是性质近似的元素。长周期画成 8 字形。白圈是金属，黑圈是非金属，阴影圈是中性元素(惰性气体和生成两性氧化物的元素)

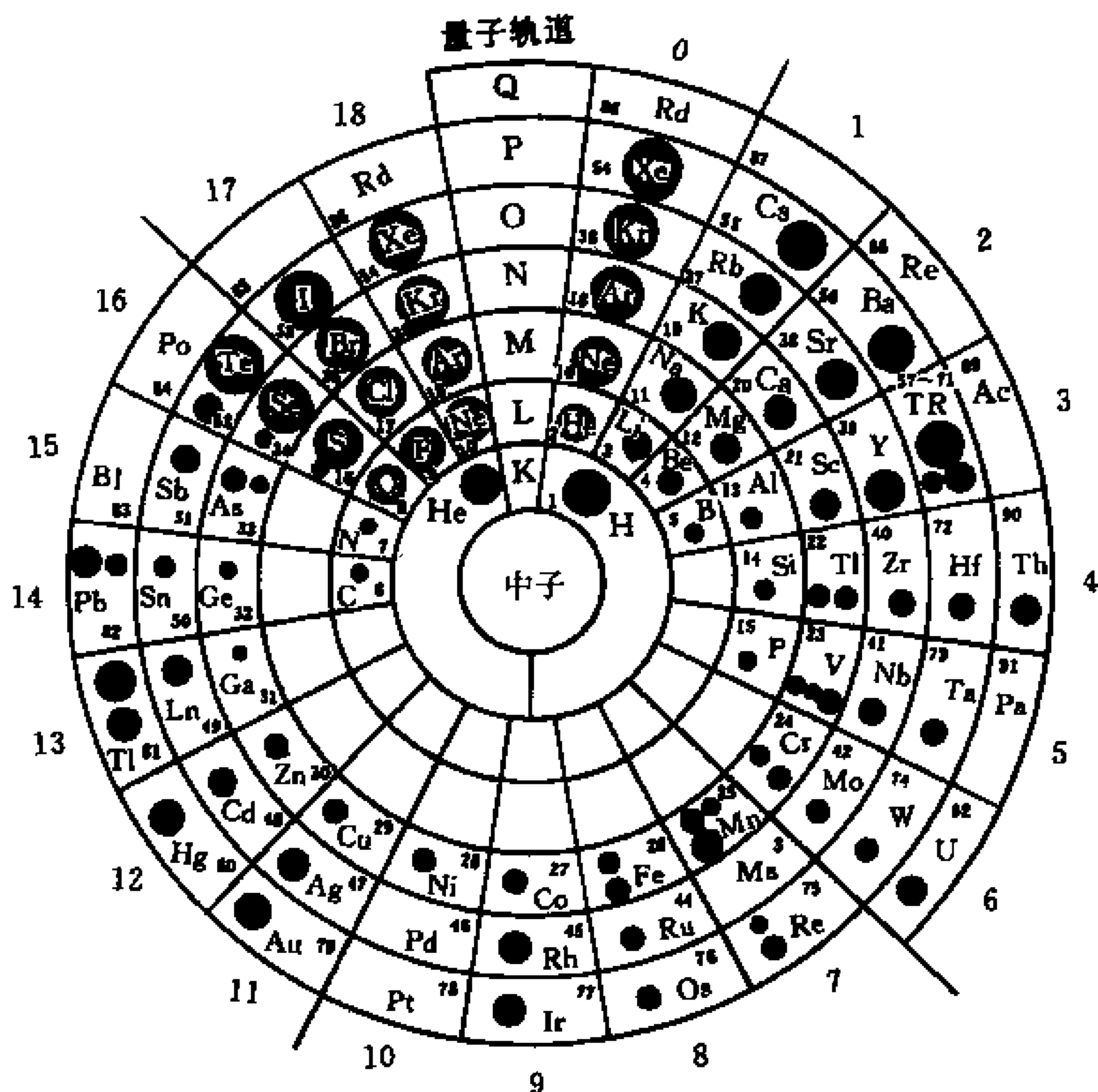
我们来分析一下这张表，想法领会它的深远的意义。

首先看到的是许多方格。这些方格横的排成 7 列，用竖直线把这些横列分成 18 直行，或者照化学家的说法，分成 18 族。可是大部分课本里画的表跟这里画的多少有点不一样(有几个横列又分成两列)，而对于我们来说，还是研究前一种排法比较方便。

第一列一共才两个元素：氢(H)和氦(He)；第二列和第三列各有 8 个元素；第四、五、六列各 18 个元素。这 6 列的方格里一共应该有 72 个元素，可是在 56 号和 72 号之间的一格里却不是一个元素而是 15 个元素，它们都叫做稀土元素。最后，下一列显然应该和前一列一样的有 32 格，但是眼前只能填上一部分。

第一格是氢，很难想像氢以前还会有什么元素，因为氢核里的质子和中子就是构成别种原子的基本砖块。所以毫无疑问，氢在门捷列夫表里占第一位是对的。至于表的结尾问题却复杂得多。金属铀曾经长期占据着表的末位。

可是后来化学家在实验室里制得了超铀元素，于是门捷列夫



螺旋形的门捷列夫元素周期表

圆点的直径表示原子和离子的比较大小(1945 年比里宾绘)

表便不能再用铀来结尾了。铀以后看来还有 8 格：这是一些新元素——錼(93 号)、钚(94 号)、镅(95 号)、锔(96 号)、锫(97 号)、锎(98 号)、釾(99 号)、钲(100 号)。

我们看了每个方格里上面的数字，知道它们是从 1 起顺着方格的次序排下去的。这些号数叫做原子序数，就是各种元素的原子内部所含的带电的小粒子数，所以这数是每一格、每一种元素的非常重要、不可分离的性质。

譬如说，在原子量是 65.38 的金属锌的这一个方格里有一个数字 30，这个数字一方面代表锌的原子序数，另一方面又表示绕着锌原子核旋转的有 30 个带电的小粒子，就是所谓电子。

这些元素里有4种——43号、61号、85号、87号，化学家曾经在自然界里多方找寻过，他们分析了各种矿物和盐类，打算在分光镜里看出有什么还没有发现的光谱线，却都白费气力。杂志上发表过许多次长篇大论，说是发现了这4种元素，后来都证明是错了。结果不论地球上或别的天体上，都没有能够找到它们，但是现在已经用人工的方法成功制取了它们。

43号元素在性质方面像锰，所以门捷列夫起初给它起的名字，叫做类锰。

现在这种元素已经用合成方法制得了，起的名字叫锝。

第二个元素的位置在碘底下，是85号。它应该有某种神奇的性质，应该比碘更容易逸散。门捷列夫叫它做类碘。这种元素现在也已经合成了，起的名字叫砹。

第三个元素在长时期里也是一个谜，在我们的表里是87号，它也是由门捷列夫预言过的，他叫它做类铯。这种元素也已经合成了，起的名字叫钫。

最后，第四个始终没有在地球上和别的星体上发现的元素，是61号，它是一个稀土金属，它也用合成的方法制得了，起的名字叫钷。

门捷列夫当初苦心思索了自然界的复杂面貌，才画出第一张元素表的草案，而现在的表比当时充实得多了。

我们前面说过，每个方格有一定的号数，只有一种化学元素。但是物理学家证明，实际上不那么简单。例如17号那格，从化学性质来看，应该只有一种气体氯，氯原子中心有一个核，有17个电子绕核旋转，像行星绕太阳旋转一样。然而物理学家指出氯有两种：一种比较重，一种比较轻。而这两种氯到处用同样的比率混合，所以氯的平均原子量总是等于35.46。

再举一个例子。大家知道30号是锌。可是物理学家又说，锌不止一种，有些重的，有些轻的，一共有6种。可见虽然每个格里只有一种化学元素，它有一定的天然性质，可是这元素往往

有好几种，也就是说有好几种“同位素”。有的元素有一个同位素，有的元素的同位素却多到10个。

不用说，同位素的发现，引起了地球化学家极大的兴趣。为什么所有同位素的分量有严格一定的比率呢？为什么同位素不是这一处是重的多而另一处是轻的多呢？化家学煞费苦心来检验这件事实。他们分析了不同来源的盐：从海水精制的食盐，各种湖里的盐，岩盐，中非洲的盐；他们用每一种盐制出了氯气，想不到这些氯气的原子量完全一样。他们甚至于拿天上掉下来的石头制出氯气，结果氯气也是那样的成分。不管我们从哪儿取得这种元素，它的原子量却始终保持不变。

但是不久，化学家得到了胜利。另外几位研究家在实验室里试着来把氯的轻重两种同位素分开。氯气经过长时间复杂的蒸馏以后分成了两种气体：一种是轻的氯原子，一种是重的氯原子。两种氯气的化学性质一模一样，可就是原子量不一样。

发现了每种元素的同位素，使整个门捷列夫表变得复杂了。这表以前看着是多么简单——92个方格，每格一种元素，格里的号数代表核外的电子数，一切不都很自然、清楚、明确吗！可是忽然又不是那么回事！

原来不是只有一种氧原子——却整整有3种，3种的原子量分别刚好是15、16、18。但是最奇怪的是，氢也有3种原子，第一种的原子量是1，第二种是2，第三种是3。第三种在自然界里非常少见，所以不用去记它，连第二种都不太引人注意，人家给它起了个特别的名字，叫做氘[1]。

在化学性质方面，氘和普通的氢气一样。可是氘的质量是普通氢气的两倍。大工厂里用电流把水分解，能得出纯氘，用氘组成的水比用轻的氢组成的水重。重水还有一些特别的性质：它要杀害生命(对活细胞有强烈的作用)。一句话，它的“行为”很特别。

---

[1] 氘音“刀”。——译者注

化学家在实验室里取得了这样的成就以后，地球化学家也要在自然界里去研究同样的问题。要知道，既然能在曲颈瓶里把不一样重的氢原子分开，那么没有问题，在自然界里也一定可以办到。所差的只是：自然界里的一切化学反应不是那样安静地进行的，周围的环境总是变化无常，熔化的岩浆有时候在地下深处，有时候冒出地面，未必能像工厂和研究所那样收集到大量的纯粹的同位素。现在确实知道，海水比河水和雨水所含的重水稍稍多一些。有一部分矿物里含的重水又比海水里的多一点。这样，又发现了一个崭新的世界，是以前的矿物学家和地球化学家所没有进去过的。

这些化合物之间的差别是那么微小，所以一定要用非常精密的化学方法和物理方法才能找出这些差别来。

而几百万分之一克和几百万分之一厘米，或者即使是几千分之一克和几千分之一厘米，矿物学家和地球化学家在研究我们周围的石块、水和土壤的时候是不会察觉的。我们有的时候会忽略氧有3种，锌有6种，钾有2种，因为它们之间的差别是那样微不足道，或者说得坦白些，现在我们的研究方法也还是不够仔细的。

只有经过化学家和物理学家的精密研究以后，才能把元素分成不同的同位素，毫无疑问，一旦我们会用最精密的方法来研究我们整个的自然界，那时候一定能发现我们现在还猜不透的地球化学上的伟大的定律。

读者们，我们先不去管同位素吧。我们暂时认为门捷列夫表的每个方格里都是一个固定不变的化学元素。50号那格里我们算它只是锡，它不论什么时候什么地方总是那样，它进行的化学反应也到处一样，它在自然界里某些同样的晶体里找到，它的原子量到处都是118.7。

门捷列夫表决不因为同位素的伟大发现而受到损害。它只是在极微妙的细节上变得复杂了，而实质上这张表还是那样简单、清楚、明确地表出了自然界的面貌，和门捷列夫当初描绘的情形一

样，门捷列夫的天才的智慧当时是预见到这张表的重大意义的。

让我们更深入钻研一下这张表，看看它对于研究自然界的矿物学家和地球化学家，究竟有什么价值。

我们先把每一直行里的方格从上到下来看一遍。

先是第一行——锂、钠、钾、铷、铯、钫。它们6个都是金属，就是我们所说的碱金属。除了人工制成的钫以外，它们在自然界里常常是在一起的。它们有几种化合物我们很熟悉：钠的化合物里有我们吃的食盐，钾的化合物里有制造烟火用的硝石。

钠钾以外的4种碱金属非常少见，现在它们用在制造复杂的电气仪器上。但是这6种元素尽管有什么不同，它们的化学性质却还是十分近似的。

看第二行——这是碱土金属，先是最轻的铍，末了是奇妙的镭。它们的性质也很近似，像一家人似的。

然后是第三行——硼、铝、钪、钇，往下是15个稀土金属，最后一个是锕。我们在实际生活上只和前两种元素——硼和铝——熟识，硼和铝在自然界里起着很大的作用。硼是硼酸和硼砂的成分，硼砂可以用做焊药。铝含在霞石、长石、刚玉、铝土里面，纯铝可以制造金属器皿、锅子，调羹。这族元素相当复杂。铝算是真正的金属了，可是硼与其说是金属，不如说是非金属，因为它和典型的金属生成盐(例如硼砂)。

再看第四行——碳、硅、钛、锆、铪，末了一个是钍。碳和硅是自然界里非常重要的元素，一切生物体里都有碳，到处的石灰岩里也有碳，至于硅，我们将专辟出一节来讲它。

然后是第五行、第六行和第七行。这3行元素都是一些特别的金属，它们在钢铁工业上的价值很大，把它们添在钢里，可以改善钢的性质。

往下是门捷列夫表里有趣的中心部分，就是第八、九和十行。这张表的这部分里最突出的特点是，横着相邻的3种金属性质非常接近。铁、钴、镍的性质很相像，在自然界里也常在同一

处发现；连做化学分析的时候也很难把它们分开。还有轻铂族金属——钌、铑、钯和重铂族金属——锇、铱、铂，每一族里的3种元素也是彼此很相像的。

过了表的中心以后那4行里是所谓重金属。铜、锌、锡、铅都在这里面，我们在生活上都知道这4种金属。

往后是第十五行。第一个是气体氮，接着是容易逸散的磷和砷，然后是半金属的锑，最后是相当典型的金属铋。这一行仿佛指出这张表再往下就要急遽转变，因为那里我们再也不会遇到有金属的光泽和我们熟悉的某些性质的金属了。那里的元素是化学家所谓非金属：气体、液体，或者是固体的非金属。

第十六行里氧、硫、硒、碲的性质都很明确，可是钋的性质还不太清楚。其次是第十七行，是会逸散的元素，先是氢、氟、氯3种气体，再是液体溴，再后是固体的可是也会逸散的结晶碘，最后是我们还不太清楚的人造元素砹。化学家把这族元素(氢气除外)叫做卤素，意思是“造成盐”的元素。最后是第十八行。这些都是稀有气体，也叫做惰性气体。它们和别的元素都很难化合；它们渗透在整个地球里，在所有矿物和我们周围自然界的一切里面。它们的第一个是太阳的气体——很轻的氦；末一个是一种奇怪的气体氡，它的原子总共只能够存在几天。

地球化学上的门捷列夫元素周期表

化学元素在地球里和我们周围整个的自然界里是怎样分布的?这个问题对于人类从古以来就是十分重要的。

世界上到处都发生这个问题，是由于日常生活的需要自然而然发生的：人在原始社会里需要劳动工具和打猎工具的原料，他们开始用硬的燧石或用和燧石一样硬而更结实的软玉来制造简陋

的工具。显然，人类早在纪元前好几千年就开始寻找矿藏，那时候原始的人类注意到河沙里金子的光泽，有些石块很好看或者很重，也引起了他们的注意。

人类便是这样先知道，后来又学会开采和提炼铜、锡、金，最后是铁。观察和经验逐渐积累起来。古埃及人已经知道哪些地区产铜和钴的矿物，可以用来制造蓝色颜料，后来又知道含铁的赭石，做雕像的黏土，以及做他们崇拜的蜣螂雕像的土耳其玉[1]。

人们慢慢地看清楚关于自然界的简单规律。有一些金属往往在同一处发现，例如锡、铜和锌；这就提醒人去制造它们的合金——青铜。在另外一些地方同时发现金子和宝石；又有一些地方是黏土和长石聚在一起，可以用来制造瓷器。

就是这样逐渐发现了地球化学上的一些重要规律。中世纪的炼金术士在神秘而肃静的实验室里试着炼出金子和哲人石来，他们在积累自然界的事实方面也做了不少的工作。

炼金术士已经知道，有几种金属你爱我我爱你，常常生在一起；例如闪亮的方铅矿晶体和闪锌矿常在同一处矿脉里，银子总是跟着金子，铜又常和砷在一块儿被发现。



一幅17世纪的木刻画，画着东方的宝石商人

等到欧洲的矿冶业发达起来，地球化学上的规律就更加明显。在萨克森、瑞典和喀尔巴阡山脉的矿坑深处建立了一门新的学科——地球化学——的基本原理，阐明了哪些物质会在自然界里同一处发现，在什么样的条件下，哪些规律强迫某些元

[1] 古埃及人用土耳其玉雕成蜣螂像来象征复活。——译者注

素聚集在地球的同一个地方或者分散在不同的地方。

要知道，这在从前是矿冶业上最迫切需要解决的问题。需要找出来哪些地方大量聚集着工业上用的重要金属——像铁、金等等。

现在我们已经知道，元素的行止是有严格一定的规律的，我们可以利用这些规律来勘探矿藏。

关于这类规律，我们甚至在日常生活上也知道一些，例如天然的元素像氮气、氧气和几种稀有气体主要是在空气里混合在一起。我们又知道，盐湖或岩盐矿床里有氯、溴、碘跟钾、钠、镁、钙等金属化合成的盐类共生在一起。

花岗岩是熔化的岩浆凝固以后生成的，是有闪光的结晶岩，它里面含有固定的几种化学元素。而这些元素又必然和含硼、铍、锂、氟的宝石在一起，而且花岗岩里还含有重要的稀有金属：钨、铌、钽。

和花岗岩相反，从地下深处流出的很重的玄武岩里含着铬、镍、铜、铁、铂的矿物。熔化的岩浆从它的发源地向地面上升，四散分出旁枝，形成了矿脉，采矿的人从这种矿脉里找到锌和铅，金和银，砷和汞。

所以我们的科学越是向前发展，地球化学的规律也就越明显越肯定，那种规律在过去长时期里是没有人懂得的。

那么再看看门捷列夫表吧。这张表对于我们勘探金属和矿石的人，难道不是和对于化学家一样，不也是为我们服务的指南针吗!

门捷列夫表的中心部分有 9 种金属：铁、钴、镍和 6 种铂族金属。我们知道，这 9 种金属的矿床是在地下很深的地方。除非高耸的山岭在千百万年里差不多被冲成平原，像苏联的乌拉尔那样，那时候侵蚀作用才能暴露出地下深处蕴藏着铁和铂的绿色深成岩层。

你们看，这 9 种元素不但是苏联山脉的基础，而且恰好占着门捷列夫表的中心位置。

再来看我们所谓重金属，它们在镍和铂的右方占着好几个方格，这是铜和锌、银和金、铅和铋、汞和砷。不是我们刚说过，这些金属总是在同一处被发现吗?采矿的人会在穿过地壳的矿脉里找到它们。

然后从表的中心往左看——左方也是金属的园地。这里有我们熟知的生成宝石的金属，有几种宝石里含着金属铍和锂的化合物；还有一些是稀有的甚至是非常稀罕的元素，它们聚集在花岗岩的最后冷凝的部分，在所谓伟晶花岗岩里。

再看表的最左和最右的两方。我们不能忘记，这张表可以横着卷起来，所以它两边尽头的各族元素是彼此衔接的。这部分表里又有我们熟悉的元素，在盐产地——盐湖、海洋、岩盐里有这些元素。这是氯、溴、碘、钠、钾、钙，它们生成不同的盐。

现在请仔细看看表里的右上角，你们在这里找到了组成空气的主要元素——氮、氧、氢、氦和别的惰性气体；而表的左上角呢，是锂、铍和硼。这些元素不是会使我们想到花岗岩里最后冷凝的部分，就是形成好看的宝石，粉红色和绿色的电气石，翠绿色的祖母绿，紫色的锂辉石的那部分吗?你们看，门捷列夫的表本身就告诉了我们自然界里的元素是怎样成族地生在一起，可见这张表确实是勘探有用金属的指南针。



黑色电气石的晶体

为了举例证实前面所说的规律性，我们提一下乌拉尔山脉的主要矿藏。

乌拉尔山脉在我们的眼里像是一张巨大的门捷列夫表，横跨

着各种岩层。山脉的轴心，相当于表的中心部分，是密度很大的铂族金属的绿色岩层。著名的索利卡姆斯克产盐地带和恩巴地区，相当于表的左右两旁的元素。

难道这还不算是那个最深刻、最抽象的思想的奇妙的证明吗?我想你们自己也已经懂得，门捷列夫表里元素的排列不是偶然的，而是根据它们性质上相似的地方来排的。所以，元素的性质越接近，它们在表里的位置也越接近。

自然界里也是这样。我们的地质图上画着不同矿产的记号，那些记号决不是胡乱标上的。锇、铱、铂常在一起，砷和锑同在一处被发现，都不是偶然的。

各种原子在化学性质上相近似，有一定的规律，也正是这些规律决定着元素在地球内部的动态。可见伟大的门捷列夫表确实是最重要的武器，人们用它来发掘地下的富源，找到有用的金属，有了金属才谈得到农业和工业!

让我们看一下乌拉尔在远古时候的情形。熔化了的很重的深成岩浆从地底下很深的地方上升；岩浆里含的是深灰色的、黑色的和绿色的岩石，含有很多的镁和铁。岩浆里混杂着铬、钛、钴、镍的矿石；又夹带着铂族金属：钌、铑、钯、锇、铱、铂。

这样就开始了乌拉尔历史的第一阶段。橄榄岩和蛇纹岩在地下深处构成了乌拉尔山脉的中坚骨干，像一条长长的链子，往北伸展到北极地带的群岛，往南没入哈萨克斯坦羽茅草的草原地下。这就是门捷列夫表的中心部分。

熔化的岩浆在四下分散的过程当中，有一部分比较轻比较容易逸散的物质分离出来；然后岩层经过复杂的变化而变成现在的乌拉尔山脉；在变化过程当中，乌拉尔有过火山活动，等火山活动快停止的时候，在它深处结晶出来有闪光的花岗岩。这是一种灰色的花岗岩，乌拉尔地区的居民谁都知道，特别是乌拉尔东部山坡的居民。分凝出来的纯粹的石英贯通着花岗岩造成白色的矿脉，伟晶花岗岩矿脉分出旁枝，越出范围，侵入了两旁的岩石。

在这种作用的过程当中聚集了容易逸散的元素——硼、氟、锂、铍、稀土元素，同时生成了乌拉尔宝石和稀有金属的矿石。

这在门捷列夫的周期表里，相当于靠左面的那一部分。

但是在这时候和以后一段时期，地底下还有火热的溶液往上升，夹带着低熔点的、流动的、容易溶解的锌、铅、铜、锑、砷的化合物，金和银也跟着这些化合物出来。

这些矿床在乌拉尔东部山坡连成一条长链子，有的地方大量地聚集在一起，有的地方是分支的矿脉和矿脉业。

这部分相当于门捷列夫表里右方的元素。

最后火山活动完全停止了，地层本来因横压力被挤起成了乌拉尔山脉，使山峰从东向西移动，替火山岩和炽热的矿脉溶液说不定在哪里打开出口，现在这种横压力也停止作用了。



斯维尔德洛夫斯克省楚黎瓦雅河河岸的悬崖

接着就是长时期的破坏作用。乌拉尔山脉在成亿年里受到连续的破坏，岩层不断遭受到冲洗。一切难溶的物质留下不动，其余的都溶解在水里，被水流冲到海里和湖泊里去。水流在乌拉尔以西汇集成彼尔姆海，把从乌拉尔冲走的物质都搜罗进去。后来海水慢慢干了，海面分成许多港湾、湖泊、三角港，而盐便沉积在这些地方的底下了。

这样便聚集起了钠、钾、镁、氯、溴、硼、铷的盐类。

这就是门捷列夫表的左

方和右方的方格。

而原先是乌拉尔山顶的地方，现在只剩下没有和水起化学反应的东西留在那里。

在中生代千百万年的炎热天气里，破坏了的岩石又长成了地壳。铁、镍、铬、钴聚在这层地壳里，形成了储藏量丰富的褐铁矿层，替乌拉尔南部地区的炼镍工业打下了基础。

在花岗岩受到破坏的地区造成了石英冲积矿床，这里面聚集着金、钨、宝石，这些东西都埋在沙里，没有起变化。

乌拉尔便这样逐渐地死去，它的表层盖上了土，只有它东部的河水不时向它侵袭，冲毁它长成的小丘，在河的两岸重新把锰和铁的矿石分离出来。

乌拉尔山脉的一头靠北极地带的冰天雪地，另一头是哈萨克斯坦的羽茅草原，门捷列夫表好像就隐藏在这一带的地底下。需要有新型的人，有新的、先进的技术，才能揭去乌拉尔大山脉的古老地层，才能一步步发现门捷列夫表的一个个元素，把这个大山脉的全部地下资源发掘出来用到苏联的工业上，来争取共产主义的胜利!

原子分裂，铀和镭

我们从前面几章知道，地球化学这门学科的基础是原子，原子这个名字的希腊文原意是“不可分的”。92 种原子，也就是 92 种不同的元素，配搭起来构成我们周围的自然界。

那么这种小到“不可分的”物质粒子到底是什么东西呢?它真的“不可分”吗?92 种原子之间确实是各不相关，在构造上毫无一致的地方吗?

把原子看做实质上不能再分的小球体，这种概念一向是化学

和物理学的基础。“不可分的”原子充分地解释了物质的物理性质和化学性质，所以物理学家和化学家虽然猜疑过原子有复杂的结构，可始终没有特别下功夫去研究原子。

一直到1896年，法国著名的物理学家柏克勒尔发现了一种以前没有人知道的现象，发现了铀能够放射某种从来没有见过的射线，而居里夫妇又发现了新元素——镭，镭的放射现象比铀的清楚得多，从那时候起才明白原子有非常复杂的结构。而现在呢，由于居里夫人、约里奥·居里夫妇、卢瑟福、罗日杰斯特文斯基（Л. С. Рожпественский）、玻耳以及别的科学家杰出的研究工作，原子结构的全貌已经相当清楚了。我们不但知道了构成原子的是哪些最小的粒子，而且知道这些粒子多大，多重，它们怎样排列，是什么力量使它们结合在一起的。

我们已经说过，每一种化学元素的原子，别看它是那么小(它的直径是 $1/10^8$ 厘米)，它的结构却复杂得很，很像我们的太阳系。

原子里有一个核(核的直径是原子直径的 $1/10^6$，差不多等于 $1/10^{13}$ 厘米)，原子的质量几乎完全集中在核上。



居里夫人在她的巴黎的实验室里

原子核带正电。原子越重，核里带正电的小粒子也越多，而且每种原子的这种小粒子数正好等于这元素在周期表里所占方格的号数。

原子核外有电子，电子在离核不同的距离上绕核旋转。电子个数等于核的正电荷数，所以整个原子是电中性的。

一切化学元素的原子核都由最简单的两种小粒子组成，

一种是质子，也就是氢原子核，还有一种是中子。质子的质量大约等于氢原子的质量，带一个正电荷。中子也是实质的粒子，质量和质子差不多一样大小，但是它既不带正电，又不带负电。

质子和中子在原子核里结合得非常紧密，所以原子核在任何化学反应当中总是那么稳定，丝毫不起变化。

翻开门捷列夫的周期表，从轻元素往重元素看，我们就会发现，轻元素的原子核里差不多含有同数的质子和中子(这点不难看出，因为周期表里前几个元素的原子量数等于或者大约等于元素原子序数的两倍)。

往下看到重元素，那么原子核里的中子数就比质子数多起来。最后，中子比质子多得很多了，原子核也变得不稳定了。从原子序数 81 号起，有稳定的同位素，也有不稳定的同位素。不稳定元素的原子核会自动分裂，放出大量的能，结果变成另外一种元素的原子核。

从原子序数 86 号起，所有元素的原子核没有一个是稳定的，这些元素叫做放射性元素。

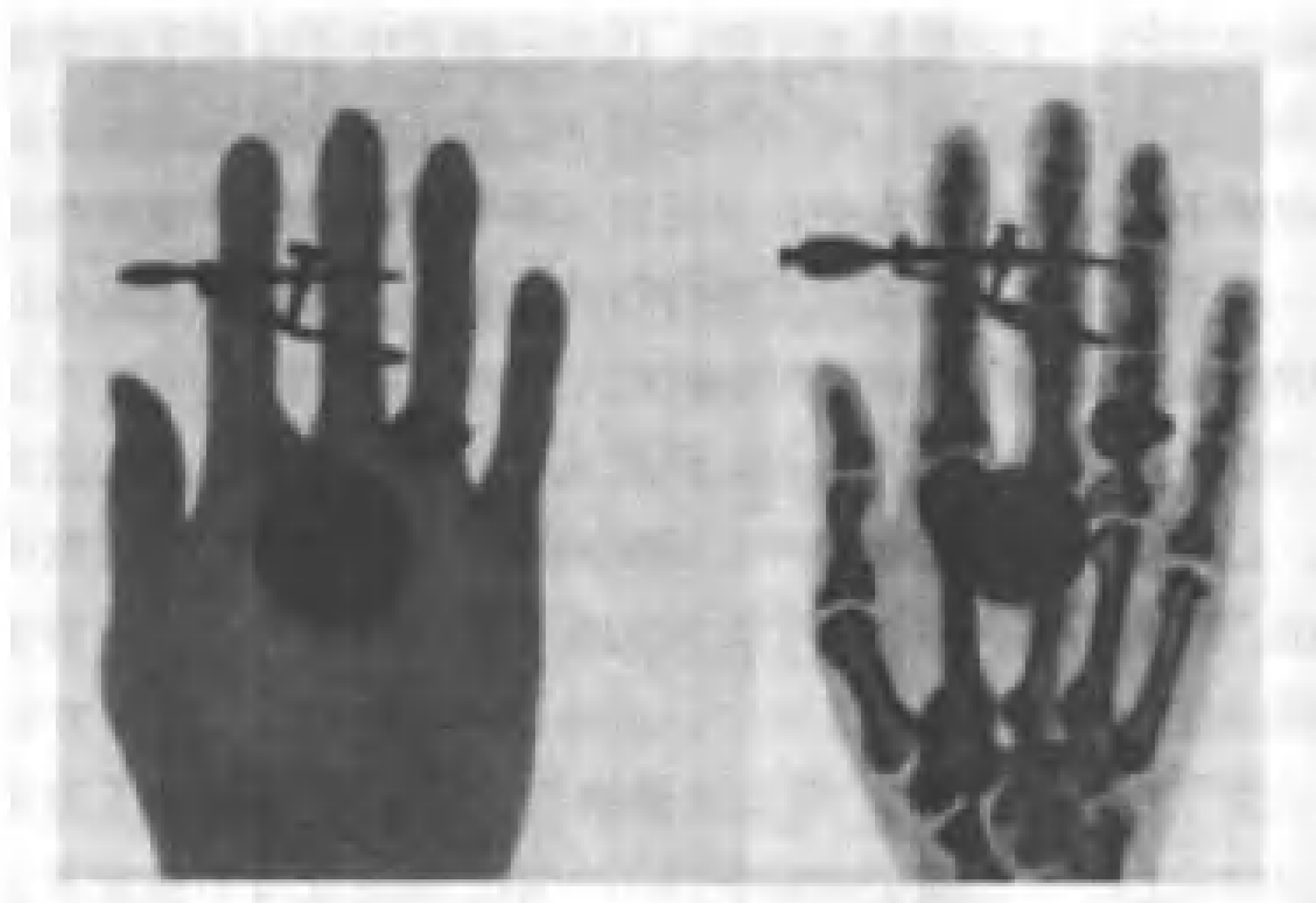
放射性是原子自动分裂的一种性质，原子放射以后变成另外一种元素的原子，同时用放出各种射线的形式来放出大量的能。射线可以分成 3 种。

第一种射线叫做 α 射线，是一种高速度飞射出来的实质粒子，每个粒子带 2 个正电荷；拿重量来说，每个 α 粒子是氢原子的 4 倍，原来这种粒子是氦原子核。

第二种射线叫做 β 射线，是高速度向外飞射的电子流。每个电子带 1 个负电荷——这是电荷的最小的单位，电子的质量是氢原子的 1/1840。

第三种射线叫做 γ 射线，它很像 X 射线，但是它的波长比X射线短。

假如我们拿 1 克左右的镭盐放在小玻璃管里，这管子的两头熔化封了口，拿来观察，我们就能发现镭盐放射蜕变时发生的一



人手的照相：左——在镭的射线里；右——在 X 射线里。
这些射线透不过金属

切重要现象。

第一，如果有一种仪器，能够测量温度的微小差别，我们便不难测出，这个盛镭盐的玻璃管的温度比它周围的气温稍为高一些。

结果我们得出这样的印象，镭盐的内部仿佛藏着一个完整的发热器，在不断起着作用。根据这种观察可以得出重要的结论：在放射蜕变的时候，也就是在原子核分裂的过程当中，不停地在产生大量的能。实验证明，1 克镭在“蜕变”当中，1 小时发出 586.2 焦的热；如果让它连续地变到铅为止（这差不多要 2 万年），那么放出的热是 1.214×10^{10} 焦，这相当于燃烧半吨煤发出的热量。

把盛着镭盐的玻璃管平放着，用小抽气机抽出玻璃管里的空气，小心地送到另外一个玻璃管里去，那个玻璃管里的空气是预先抽去了的。然后把第二个玻璃管两头熔化封了口。这个玻璃管在暗处会发出浅绿色或浅蓝色的光，与盛着镭盐的玻璃管的发光情形完全一样。

这是次级放射现象，是由镭产生的另外一种放射性元素引起的。这种元素是气体，叫做氡(Rn)。

玻璃管里氡的含量在40天以内不断增加，此后就保持不变，因为40天以后氡的蜕变的速度等于产生它的速度。氡的放射性还可以用带电的验电器检查出来，只要把盛着氡的玻璃管拿近验电器就行了。放射线把周围的空气变成离子，于是空气变成导电体，验电器上的电就马上失去了。

假如上面的实验每天都做，那么很容易看出，日子一多，盛氡的玻璃管对于带电的验电器的作用逐渐减小。过了3.8昼夜，作用力减去一半；满40天以后，把这玻璃管拿近带电的验电器，就丝毫不起作用了。可是如果我们在这个密闭的玻璃管里造成放电现象，再用分光镜来看看玻璃管里的气体在放电时发出什么样的光，那就会发现另外一种气体的光谱，原先玻璃管里是没有这种气体的。玻璃管里新出现的气体是氦。最后，如果把镭盐放在玻璃管里保存好多年，再把它从玻璃管取出，然后用非常灵敏的分析方法来找玻璃管内壁的表面上有没有其他的化学元素，我们还会发现空玻璃管里有极少量的金属铅。

1克的金属镭在1年里面蜕变的结果，生成4.00×10^{-4}克的原子量是206的铅和172立方毫米的气体氦。

可见，由于镭的放射蜕变而接连生成了新的放射性元素，一直变到生成没有放射性的铅为止。到了铅，就不再起变化了。其实镭的本身，也是从铀开始的一连串蜕变当中的一个中间环节。

放射性元素蜕变的结果产生的一连串元素的系列，叫做放射系。

一种放射性元素的所有的原子核都是不稳定的，它们在一定期间进行蜕变的几率是相同的。所以，含有千百万原子的一大块放射性物质，不管它们受到什么样的化学作用和物理作用，蜕变的速度是固定不变的。

科学家已经证明，从接近绝对零度的液体氦的低温度到好几

千摄氏度的高温度，几千个大气压的压力，高压放电，这一些对于放射性元素的蜕变作用一点也没有影响。

放射性元素蜕变的速度，平常用它的半衰期 $T_{1/2}$ 来代表，这就是原来这一个元素的全部原子蜕变了一半所需要的时间。显然，这个时间的长短，对于各种不同的不稳定原子来说，也就是对于各种不同的放射性元素来说，都不一样，但是对于某一种放射性元素的原子来说，却是固定不变的。

各种放射性元素的半衰期差别很大——最不稳定的原子核不到一秒钟；像铀和钍那样稍微有点不稳定的却需要好几十亿年。在连续蜕变当中，下一代的原子核和它上一代的一样，本身也是不稳定的，有放射性的，这样子子孙孙地蜕变下去，最后生成稳定不变的原子核。

现在知道有 3 个这样的放射系，也就是 3 个族：第一是铀-镭系，开头是原子量为 238 的一种铀同位素；第二是铀-锕系，开头是原子量为 235 的另外一种铀同位素；第三是钍系。3 个放射系的每一系都是 10 代 12 代地连续蜕变，最后生成的稳定不变的生成物是铅的 3 种同位素，这 3 种铅的原子量依次是 206、207、208。每一个放射系蜕变以后的稳定生成物，除了铅还有氦——α 粒子被放射出来以后失去动能和电荷，就变成氦原子。

铀、钍、镭的原子在地球上不停地进行放射性蜕变，同时不断地放出热来。

如果计算一下所有这些元素在蜕变的时候发出了多少热，那么不用怀疑，这些热量我们自己老早就在享用了，我们地球之所以显著地发热，正是因为仗着这些热量。

还有，飞艇和气球里装满着氦气，氦气的来源也是地球内部铀、钍、镭的原子在蜕变过程当中产生出来的。有人算过，这样产生出来的氦气，假如从地球一存在就算起，数量是相当庞大的，足有好几亿立方米。

地球内部铀、钍、镭的原子不停地进行蜕变，这使我们感兴

趣，不但是因为蜕变能够经常地供应热量，不断地生成工业上用的化学元素，而且因为蜕变作用是一只天然的钟表，一个计时器，我们可以根据它算出地球上各种岩石已经生成了多久，最后还能算算地球从变成固体起已经活了多少年。

那么，怎样利用铀、钍、镭的原子的蜕变来测定地质年代呢?这是这样测定的。我们方才已经看到过，放射性元素不管受到什么样的化学作用和物理作用，它们的原子始终依照严格一定的速度进行蜕变。而另一方面，它们蜕变的结果生成了稳定的、再也不变的氦原子和铅原子，氦和铅的生成量积累起来一定会越来越多。

知道了 1 克铀或 1 克钍在 1 年里产生出多少氦和多少铅，又测定了某种矿物里面含有多少铀和钍，多少氦和铅，然后根据氦对于铀和钍的数量的比率，以及铅对于铀和钍的数量的比率，我们就能算出这种矿物从它生成时候起已经过了多少年。

实际上，矿物刚刚生成的时候，它的成分里只有铀和钍的原子，一点没有氦和铅的原子；后来因为矿物里的铀和钍进行蜕变，这才出现和逐渐累积起氦和铅。

含有铀原子和钍原子的矿物，好比是一个沙漏，沙漏的作用你们或许也看见过。我来告诉你们沙漏是怎样构造的：它是上下连通的两个容器；一个容器里盛着一定量的沙。开始计时的时候，把沙漏固定起来，沙就由于重力的作用，慢慢从上面一个容器掉进下面一个容器里。

平常装的沙的分量，是让它经过一定的时间——10 分钟、15 分钟等等，完全掉到下面的容器里。人们在日常生活上用沙漏来测量一定的时间间隔。其实，用它来测量任何时间间隔都可以。这只要先称好沙的质量，再称称掉下的沙的质量；或者在容器上标出等体积的记号，然后看看掉下的沙占多大体积。因为沙受重力的作用，是依照固定不变的速度往下掉的，那就可以算出在 1 分钟里有多少质量或是多少体积的沙从上面的容器掉到下面

的容器，根据沙掉下的多少，就知道从沙开始漏的时候起已经过了多长的时间。

含有铀原子和钍原子的矿物里，也发生着某些类似的作用。这种矿物相当于盛着一定分量的沙的上面的容器，每个铀原子和钍原子在执行着每粒小沙的任务。这两种原子也依照固定的速度变成氦原子和铅原子，而且和沙漏的情形一样，蜕变以后积累起来的原子和这种放射性矿物从蜕变起到现在为止的那段时间成正比。

矿物里还剩多少铀，可以直接分析出来；已经有多少铀和钍的原子进行了蜕变，根据产生的氦和铅的分量来计算。有了这些数据，就能求出铀的分量跟氦和铅的分量的比率，结果就能算出这种矿物已经进行了多长时间的蜕变。科学家按照这种方法测定出，地球上有的矿物差不多已经有了20亿年的历史。这样我们就可以明白了：我们的地球是一位老而弥坚的老婆婆，它的岁数无论如何比20亿岁要大得多。

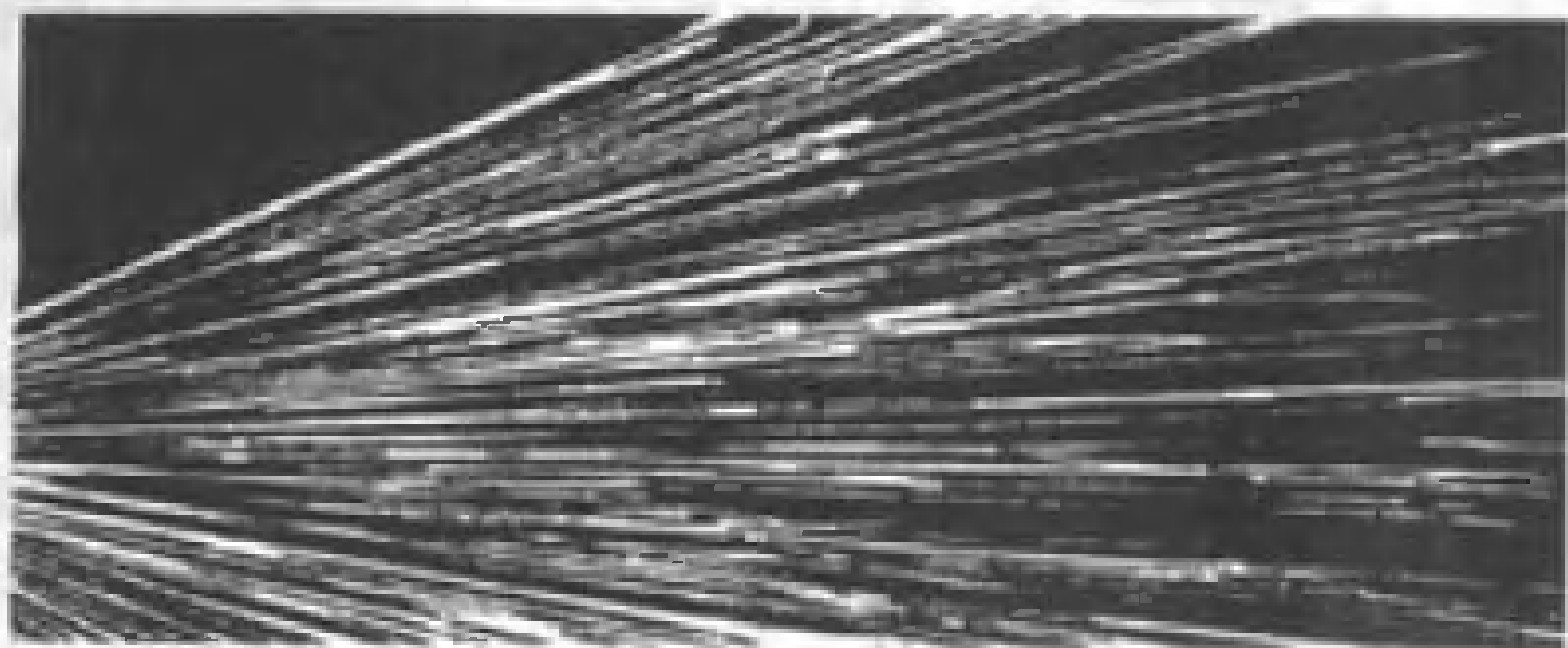
最后我愿意给你们再讲一种现象，这种现象是最近发现的，但是它对人类的生活显然起着很大的作用。我们前面已经说过，门捷列夫周期表里从81号起的重元素，除了稳定的同位素之外，也有不稳定的同位素，或者说有放射性的同位素。在稳定的原子核里，质子和中子的个数有一定的比率，但是如果这个比率受到了严重的破坏，原子核就变得不稳定了。如果核里的中子过多，它就变得有放射性了。

科学家刚一看出元素原子核的这点性质，他们立刻就想出方法来人为地改变原子核里质子和中子个数的比率，这样一来，就能随意把稳定的原子核变成不稳定的，把某种元素变成人造放射元素。这是怎样来做到的呢?

要做到这一点需要有某些炮弹，它的大小不能比原子核大，让它带着大量的能去冲击原子核。

可以做这种像原子核那么大，又带着大量的能的炮弹的，有

放射性元素放射出的α粒子。科学家首先用这种炮弹破坏了氮原子核。第一个做成这个实验的是著名的英国物理学家卢瑟福，他在1919年用α射线冲击氮原子核，发现氮原子核里飞出了质子。



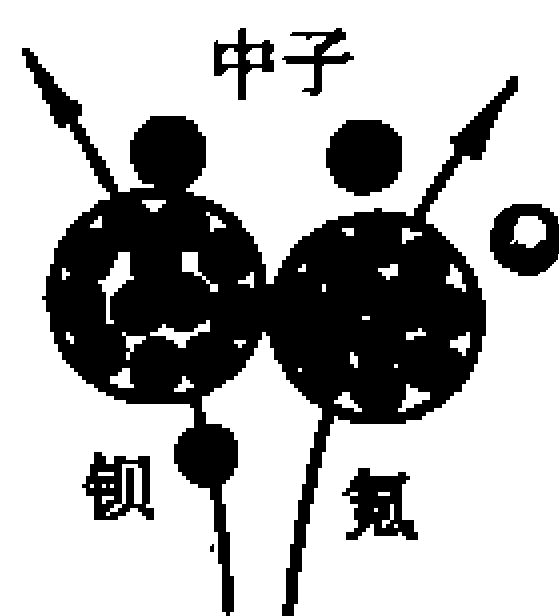
氮原子核受α粒子的作用而分裂，分裂出来的质子跑出很长一段路

过了15年，在1934年，法国青年科学家约里奥·居里夫妇用钋放射的α粒子对铝作用，发现铝受了α射线的作用，不但放射含有中子的射线，而且α射线停止照射以后，还能保持短时间的放射性质——发出β射线。

约里奥·居里夫妇进行了化学分析，确定这时候在进行人为放射的不是铝原子本身，而是磷原子，这种磷原子是铝原子受到α粒子的作用以后生成的。

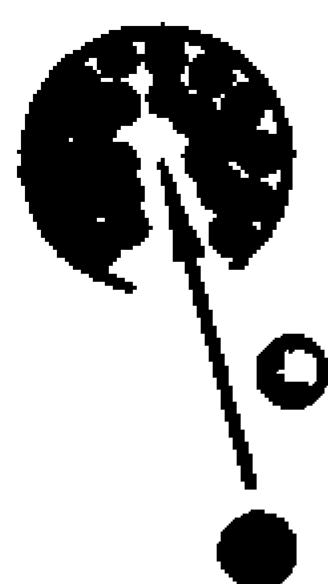
就是这样制得了第一批人造放射元素，从此打开了人为放射的大门。不久，科学家试用别的方法来制取人造放射元素，他们不用α粒子，而用中子来冲击元素原子核，中子钻进原子核比α粒子容易得多，因为α粒子带正电，所以它一接近原子核，马上要受到核的排斥。

重元素原子核的这种排斥力是非常大的，α粒子的能量抵不过这种力量，所以它根本够不上原子核。而中子呢，一点也不带电，核也不排斥它，所以它比较容易钻进核的内部去。实际上，利用中子冲击的方法，科学家已经制出了全部元素的不稳定的人造放射同位素。



1939年又发现，当中子带着少量的能对最重的元素铀起作用的时候，铀原子核便发生另外一种方式的蜕变，是以前所不知道的，这时候铀原子核分成差不多同样大小的对半两块。这对半两块的本身就是门捷列夫表里中部两种已经知道的元素的原子核，是它们的不稳定的同位素。

第二年，1940年，苏联的青年物理学家彼得尔日克(К. А. Петржак)和弗捷罗夫(Г. Н. Фдеров)2人发现，自然界里的铀也在进行这种新型的蜕变，新型的放射，只是这种新型的放射蜕变比普通的稀少得多罢了。



铀原子受慢中子冲击而分裂

假如铀按照普通方式进行放射蜕变，它需要 4.5×10^{9} 年才蜕变掉全部原子的一半，而按照对半分裂的方式，那么半衰期是 4.4×10^{16} 年；可见第二种蜕变方式的几率只是普通方式的 $1/10^{7}$，可是这样蜕变时放出的能量比普通蜕变放出的多得多。

1946年，科学家证明，铀按照新的方式放射的时候，除生成不稳定而继续蜕变的原子核以外，也生成某种稳定的原子核，经常积累在自然界里。

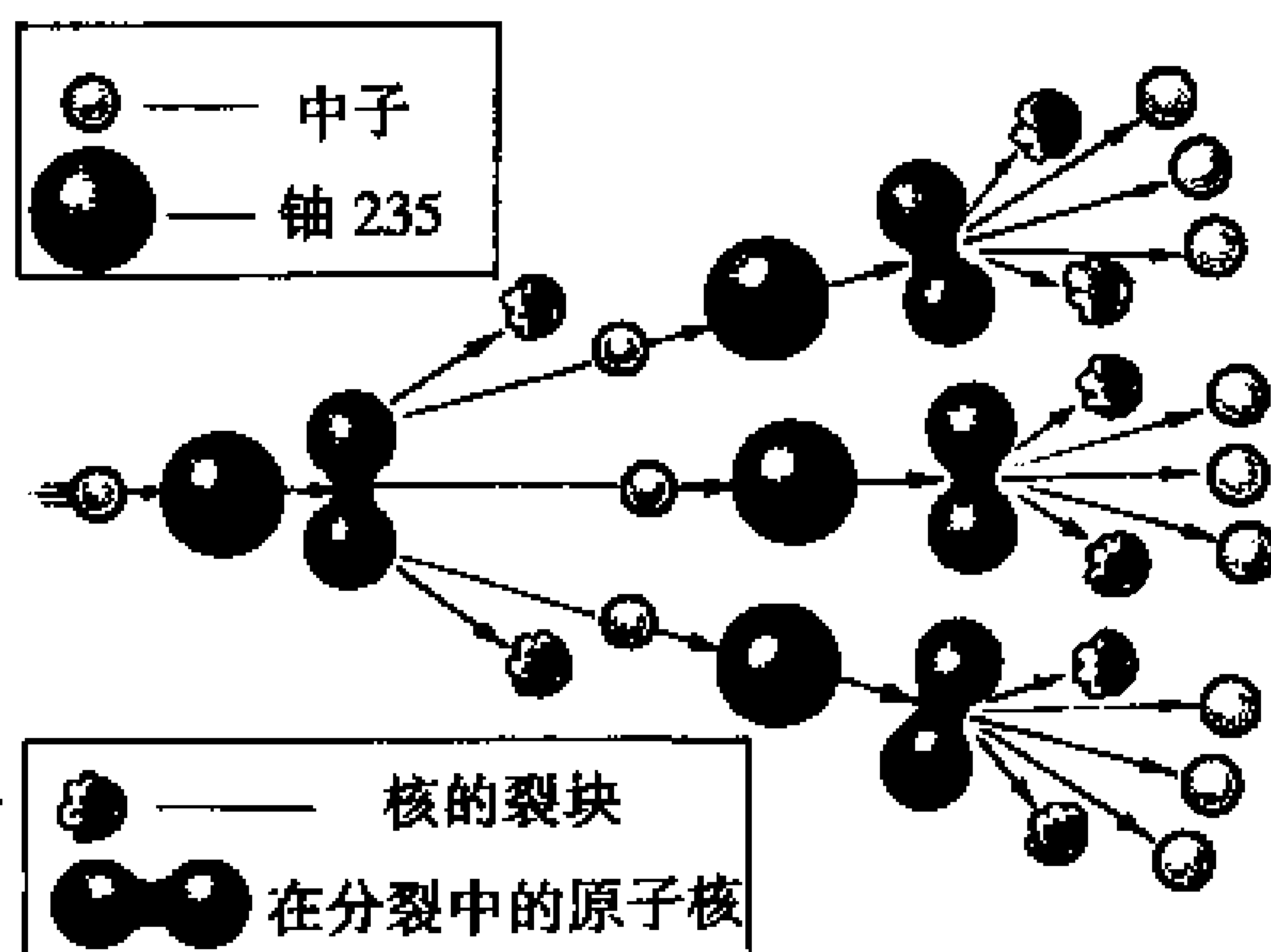
例如，如果说铀在平常放射蜕变的时候，生成和逐渐积累的是氦原子，那么按照新的方式放射，它生成和逐渐积累的是氙原子或氪原子。

冲击铀的同位素，结果生成一系列的新元素，超铀元素——93号是镎，94号是钚，95号是镅，96号是锔，97号是锫，98号是锎，99号是锿，100号是镄，门捷列夫表里都有它们的位置。

而最有趣的是，原子的这种新型的蜕变的速度是可以调节的，我们可以随意叫它加快或是减慢。假如大大加快这种蜕变过程，使1千克金属铀的原子在一刹那间完全蜕变掉，那么它能放

出的能量，相当于燃烧2000吨煤那样多，结果会发生非常惊人的大爆炸。

爆炸以后的裂块继续寻求新的平衡方式，一直等到把过剩的能量放完，本身变成比较稳定的和缓慢蜕变的各种金属原子为止。



铀235原子核里自动进行的链式反应图解

对于这个发现值得注意的是，人类的技术不但会引起这样激烈的反应，释放出骇人听闻的能量，而且会控制这种反应，叫它减慢或者加快，可以不让它急剧爆炸而让它把大量的能缓慢而平静地连续释放好几千年。这种关于原子内部的能的辉煌的思想，还只是在19世纪末年居里夫妇发现了镭以后才想到的，到20世纪初年也只有少数科学家敢断然提出，在今天却已经变成事实了。

当1903年科学家描述人类幸福的将来，认为人类生活所需要的能量是无尽宝藏的时候，这种思想还只是美妙的幻想，既不能从自然界的现实得到证明，又不能由当时科学家掌握的技术促成实现。而在今天，这种幻想果然变成事实了。

近年来，铀成了全世界各国非常注意的对象，这是没有什么奇怪的。在这以前，都把铀当做提取镭以后的废物。比利时、加拿大、美国和别的国家的几家炼镭公司在很大的工厂里把铀和镭分离开以后，就想各种方法替铀找出路。可是铀的真正用途并没有找到，铀的价钱很低，大工厂把它低价卖出去做瓷器和玻璃砖的颜料，用它制造便宜的绿色玻璃。

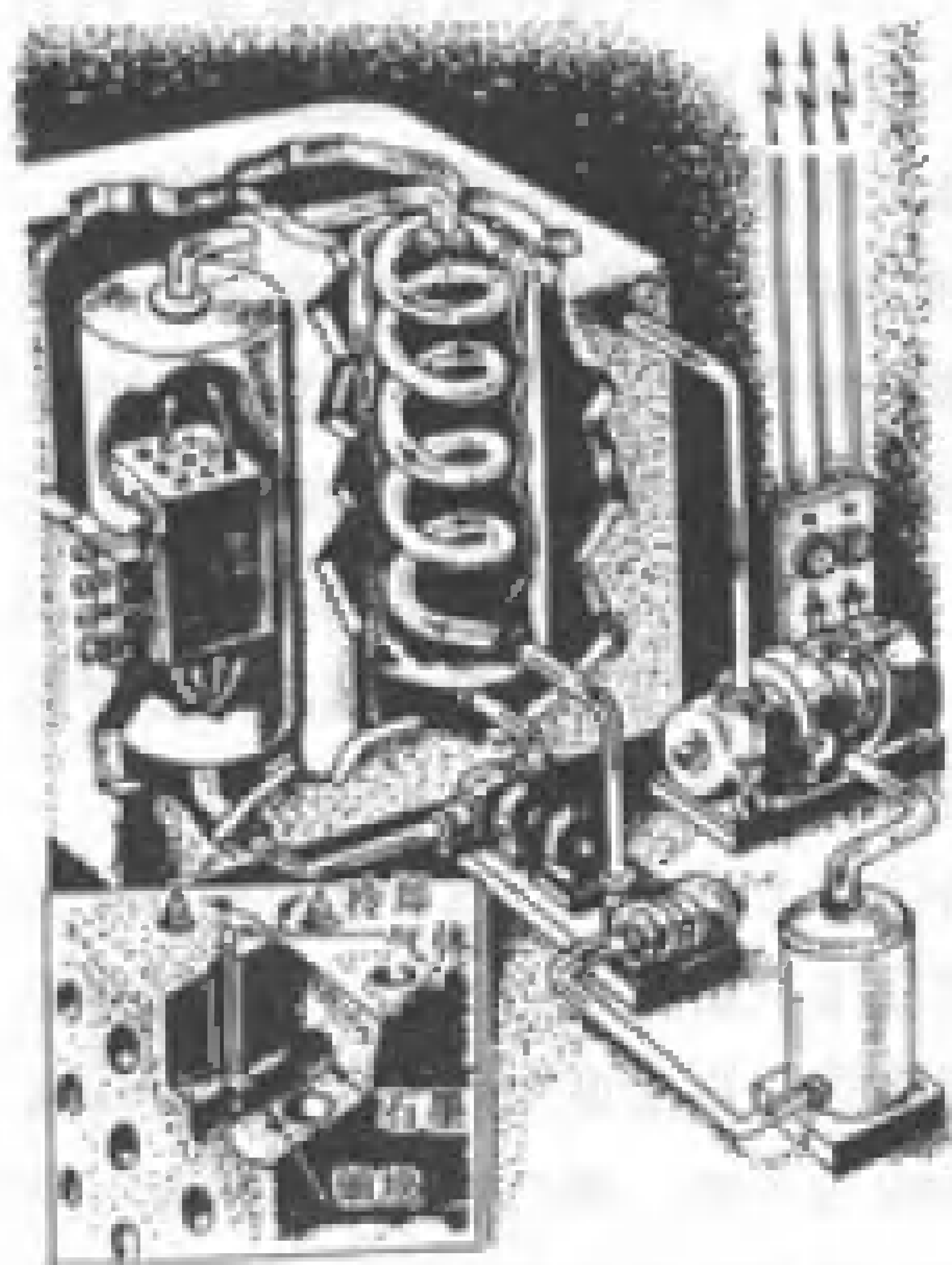
近年来情况改变了：各国把铀另眼相看，对铀格外注意，它们勘探铀矿的目的不再是为了提取镭，而正是为了铀本身。

即使要完全解决使用原子能的问题还需要花很大的精力，即使原子能在开头使用的时候比蒸汽锅炉的能量还要贵，但是要知道，原子能几乎是永恒不停的动力，广泛利用原子能在人类面前开辟了多么广阔的前途啊!

人类现在掌握了新型的能，比以前所知道的一切的能都强大有力。

全世界的科学家正在紧张地进行工作，以便尽快地掌握这种新的威力。

遗憾的是，资本主义世界的丑恶制度拚命想把原子能首先用在破坏上，但是世界上已经成长了一支力量，能够防止一小撮帝国主义者的疯狂计划，而把原子能引导到替全世界劳动人民谋求幸福的事业上去。苏联已经把原子能用来发电。苏联走在各国的前面，研究怎样使原子能替全人类造福，这是值得苏联人民自豪的。



“铀锅”。这就是实现铀 235 核链式反应的装置的名称。在这个巨大的容器里装满了铀和反应减速剂——石墨，铀锅外面包着能反射中子的物质

等到原子能可以供日常使用的时代到来的时候，我们便会有装在手提箱里的发电站，只有怀表那么大的几匹马力的发动机；储藏的能量够用几年的喷气发动机，可以飞几个月不着陆的飞机。

原子能的时代来到了，人类的威力空前增长的时代来到了。

可是根据原子结构的新的思想来看门捷列夫的周期律，它也并没有失去

价值。

而且，门捷列夫的周期律对于认识原子内部的现象和对于认识原子之间的化学上的关系一样，同样是指路明灯。研究了原子的结构，知道周期律不但是化学定律之一，而且是自然界最伟大的定律之一。

原子和时间

很难设想出比时间更简单同时又更复杂的概念。芬兰有句老话说:"世界上再也没有比时间更奇妙、更复杂、更难克服的东西"。古代最伟大的哲学家之一亚理士多德在公元前4世纪的时候说，时间是我们周围自然界里一切莫名其妙的事物当中最莫名其妙的，因为谁也不知道时间是什么，谁也不会控制时间。

人类刚有文化不久，就有了时间的开始和世界的末日的思想，他们想过，我们周围的自然界是怎样创造出来的，地球、行星和别的星体的年龄多大，太阳在天空中发光还能继续多久。

根据古代波斯的说法，世界一共才存在 1.2×10^4 年。

巴比伦的星占学家推算天体，他们说世界很老，足有两千多万年，而圣经却认为，根据神的意志，在6天6夜里造了世界，从那时候起一共只过了 6.0×10^3 年。

好几千年以来，人们的脑子里不断在想着时间的问题，人们逐渐开始用比较精确的方法代替古代星占学家的说法和空想，来确定地球的年龄。

首先计算地球年龄的，是1715年的天文学家伽利略，其次是开尔文，他在1862年根据地球冷却的学说从它冷却的时候算起，算出来的年龄是 4.0×10^7 年，这个数字在当时看来是相当大的。

后来改用地质学上的方法来计算地球的年龄。瑞士、英国、瑞典、俄国和美国的地质学家考虑到地球上沉积的岩层总共有100多公里厚，于是他们开始计算需要多长的时间才能生成这样厚的岩层。

因为河流每年从大陆上冲走的物质不会少于10^7吨，那么我们陆地的表层平均每25年要减低1米。地质学家研究了流水的作用和冰川的作用，研究了陆地和海洋的沉积物和带状的冰川粘土，他们得出结论说，地壳的历史不止4.0×10^7年，英国地球物理学家焦利在1899年算出了地球的年龄，他说地球已经存在了3.0×10^8年。

但是不论物理学家和化学家，连地质学家自己，都不满意这种结果。

陆地的破坏作用完全不是像焦利想象的那样正常地进行，和沉积时期交替的还有火山的猛烈爆发、地震以及山岳的隆起。早先积累的沉积物又都被熔化和冲走了。

焦利算出的数字不能叫精密的研究家满意，研究家想找一种真正可靠的钟表来测定过去的时间，测定地壳的年龄。

现在又是化学家和物理学家来接替地质学家。他们最后发现一种钟表是永恒开动着的，是始终如一的；这种钟表不是人造的，它没有发条，也不用人去开动。是什么钟表呢?是放射性元素蜕变着的原子。

我们在上一章讲过，全世界充满着蜕变着的原子，铀、钍、镭、钋、锕和另外好几十种元素的原子便是这样不显著而长期地进行着蜕变。这种蜕变的速度是固定不变的，上面已经说过，不论在几千摄氏度的高温下，不论在接近绝对零度的低温下，也不论在多大的压力下，不能叫它加速或者减慢。放射性元素的原子在自然界里进行的蜕变作用的严格一定的速度，决不是用什么普通的方法可以改变的。

固然，现代的技术会用强有力的仪器来破坏原子和造出新的

原子，但是自然界并不具备这种条件，所以重元素的蜕变速度在千百万年甚至几十亿年里还是那样。

不论什么时候什么地方，铀、镭、钍的原子总是在我们周围世界的每一角落里进行着蜕变，同时生成一定量的气体氦原子和稳定的、不再放射的铅原子。自然界里的氦和铅这两种元素正是科学家所用的新的钟表。人类史上从此有了永恒开动的、真正全世界标准的仪器来测量时间了！

这是多么值得惊异而又难以领会的景象！宇宙里充满着好几百种不同原子的复杂的电磁系统。这些原子放出能量，同时作了飞跃式的改变，从一种原子变成另一种原子：新生成的有一些原子仿佛顽强地再也不起变化了——显然，它们变化的时间太长了，以至我们没法察觉；另外一些原子能存在几十亿年，它们慢慢地放射出能量，经历着一系列复杂的蜕变；再有一些原子存在的时间有几年的，几天的，几小时的；最后还有一些的寿命只有几秒钟，有的还不到 1 秒钟……

元素服从原子系统改变的规律，它们充满在自然界里，而时间却支配着元素在自然界里量的分布的规律，时间把元素分布到整个宇宙里，造成了我们地球世界的复杂性，使整个宇宙有了生命。

宇宙便是这样缓慢地、永恒地进行变化；很快蜕变的重原子死亡掉，另外一些原子受到 α 射线的作用而蜕变，又生成一些比较稳定的构成宇宙的小砖块——原子，而蜕变到最后的生成物——非放射性元素就逐渐积累起来。

现在知道太阳上绝大多数的元素是不受 α 射线作用的；地球表面上有 90% 的元素，它们原子里面的电子个数是偶数或是 4 的倍数，也就是说，它们最能抵抗 γ 射线和宇宙射线的破坏作用。这些元素当中最稳定的、构造简单而又紧密的元素构成了我们的无机世界；不太稳定的(像钾和铷)参加了生活作用，由于它们蜕变而帮助了有机体争取生命的斗争。很快蜕变的元素(氡、

镭)却要损害有机体的生命，一方面也破坏了它们自己。有一些星体上的蜕变作用正在发展，例如我们的太阳——它已经相当成熟了；在星云上，蜕变作用刚刚开始；至于另外一些昏暗无光的天体，那么蜕变作用已经进行得非常缓慢，近于熄灭。时间决定着宇宙史上各种元素的成分、性质和相互配搭的关系。

物理学家和化学家算过，1000克的铀过了1亿年能产生13克的铅和2克的氦气。

假如过20亿年，那么产生的铅是225克，也就是有1/4的铀变成了铅。在这期间飞射出来的氦气有35克。但是蜕变作用还是继续下去，40亿年以后积累的铅几乎有400克，氦气有60克，原来的铀只剩下一半——500克。

我们接着推算：假定经过的时间不是40亿年而是1000亿年，那时候铀差不多蜕变完了，都变成了铅和氦气。将来地球上的铀会一点不剩，自然界会到处分布着重的铅原子，空气里会含有大量太阳上的气体——氦气。

有了这些数据，近年来地球化学家和地球物理学家就给地球的地质演变史列出了年表。

利用铀的蜕变做钟表，知道地球的年龄多半在三四十亿年以上，就是说差不多在三四十亿年以前，太阳系各行星——包括地球在内就从宇宙史上分出来而有了自己的历史。

20多亿年以前地球有了固体的地壳，这又是地球史上极其重要的一个环节，从此开始了地球的地质史。从地球上有生物到现在，已经过了10亿年以上。差不多在5亿年以前，列宁格勒附近开始沉积起著名的寒武纪蓝色黏土层。

*地质史上的第一个阶段占全部地质史的3/4，在这期间，大*堆熔化的东西有许多次从地下深处突破地面，破坏了地球表层原先长好的固体薄膜。熔化的东西流在地球表面上，火热的气体和溶液渗透进去，结果地壳发生褶皱，隆起成了山脉。苏联的地球化学家和地质学家现在已经知道哪些是地球上最古老的山脉(在



测量地球的年龄的"钟表"。如果我们把地球的全部历史,从太古代起到今天为止,算做 24 小时,那么根据放射作用计算出来各个时代,在我们这只钟表上的时间是:前寒武纪,17 小时;古生代,4 小时;中生代,2 小时;新生代,1 小时;人类还只是在 5 分钟以前才出现在生命的舞台上

卡列里的别洛莫里德,在加拿大曼尼托巴州的年代最久的花岗岩)。这几处山脉的年龄将近 1.7×10^9 年[1]。

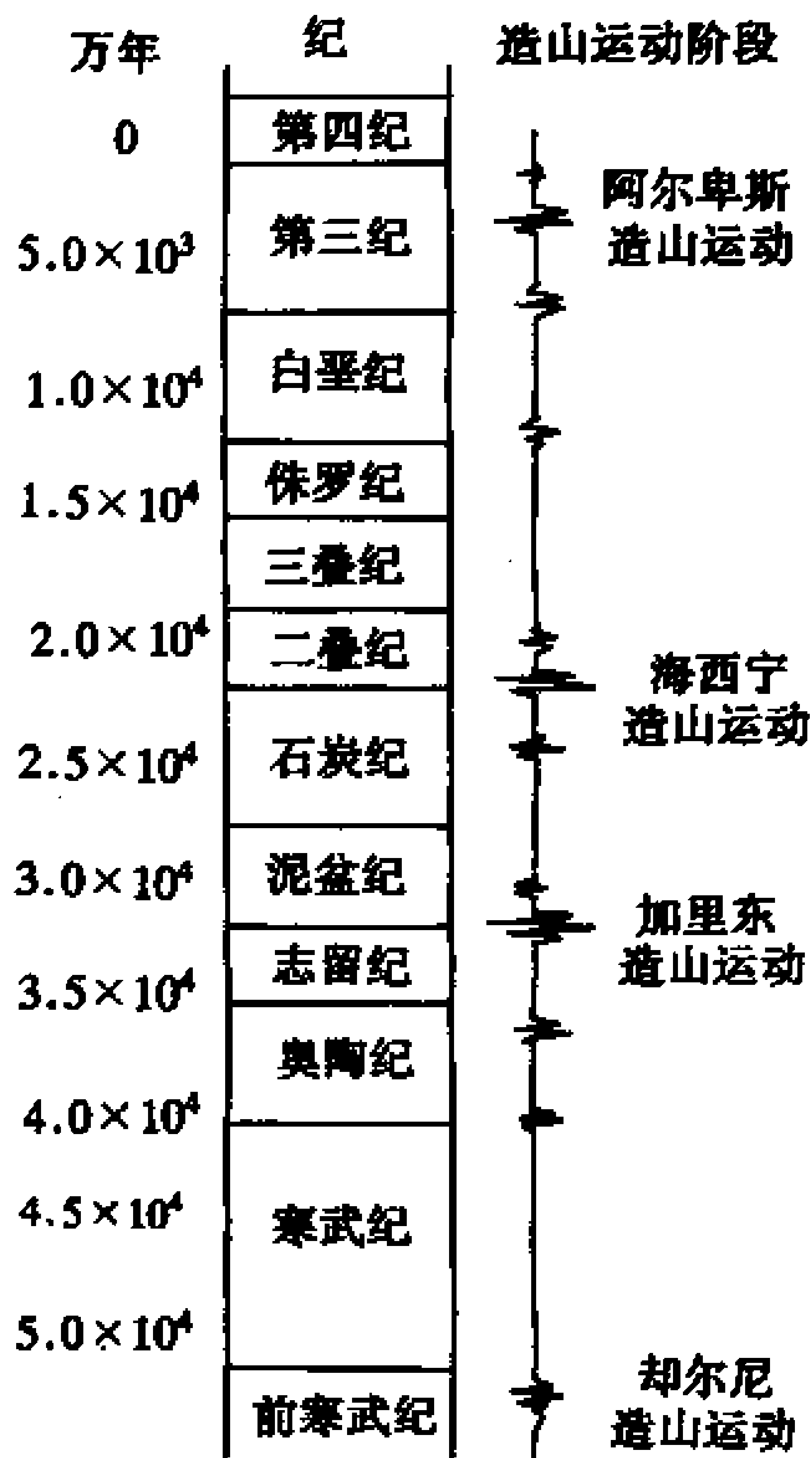
然后开始了有机世界的长期发展的历史。我们从"地球的年龄"这张表里看出各个地质时代的沉积作用继续了多久。

大约在 5 亿年以前,欧洲北部隆起了加里东大山脉;在 2 亿～3 亿年以前造成了乌拉尔山脉和天山山脉;大约在 2500 万～5000 万年之间造成了阿尔卑斯山脉,同时高加索火山的最后一次激性爆发熄灭了,另外还隆起了喜马拉雅山山峰。

然后是史前的时代:100 万年以前开始了冰川时代;80 万年以前出现了人;25 000 年前,冰川时代的最后一期完了;8000～10 000 年前有了埃及和巴比伦的文化;1950 年前才开始了我们

[1] 有一些美国科学家估计曼尼托巴州的花岗岩已经有 31 亿年的历史,但是苏联科学家认为这个数字未免有些夸大。——俄文版编者注

的纪元。



科学家还需要好多年功夫才能修整他们奇妙的钟表，让它运行得更加准确。可是测定时间的方法总算已经找到了，既然解开了时间上的一个谜，那么毫无疑问，化学家很快就会随便拿一块石头来说出它的年龄，精确地测定它已经生成了多少年。

化学家们！我们再也不信你们的原子是不可变的；一切都在运动，都在变化，都在破坏和重新造成，有的死亡了，另外一些诞生了，——这就是从时间上来看世界的化学作用的历史过程。何况人又会把原子的死亡变成认识世界的工具，利用它做测量时间的标准。



2 自然界里的化学元素

硅——地壳的基础

硅和硅的矿物

儒科夫斯基写过一首叙事诗，说有一个外国人到了荷兰的阿姆斯特丹，逢人便问，这个商店、那所房子、这只船、那块土地各是属于谁的，而他得到的答复却完全一样："康·尼特·弗士唐"。"他真富啊！"——外国人心里想着，很羡慕这个人，其实他不懂那句荷兰话的意思是说"我不懂你的话"。

谁要是给我讲起石英，我脑子里就想起这段故事。有人给我看过各种各样的东西：照在太阳光底下像泉水一般清凉的透明的球体，杂色而好看的玛瑙，多色而有闪光的蛋白石，海岸上纯净的沙，用熔化的石英做成像蚕丝那样的细丝或耐热的容器，美丽的琢磨过的水晶，神秘而奇幻的碧石，变成了燧石的木化石，古代人粗糙地加过工的箭头，这一切东西不管我怎样去刨根问底，人们总是这样回答我：这一切都是由石英和在成分上和石英近似的矿物组成的。这一切同是硅元素和氧元素的化合物。

硅的符号是 Si。它是自然界里除了氧之外分布最广的元素。自然界里从来没有发现过游离的硅；它总是和氧化合在一起，形成 SiO_2，这叫硅石，也叫硅酐，也叫二氧化硅。

平常一提起"硅"，最容易联想到燧石[1]；许多人从小就很熟悉燧石这种矿物；它很硬，用铁敲打就冒出火星，从前的人用它来取火，后来把它放在燧发枪里燃点火药。

但是燧石这种矿物并不是化学家所说的硅，而只是硅的一

---

[1] 俄文里硅叫"Кремний"，燧石叫"Кремень"，是同一个字根的。——译者注

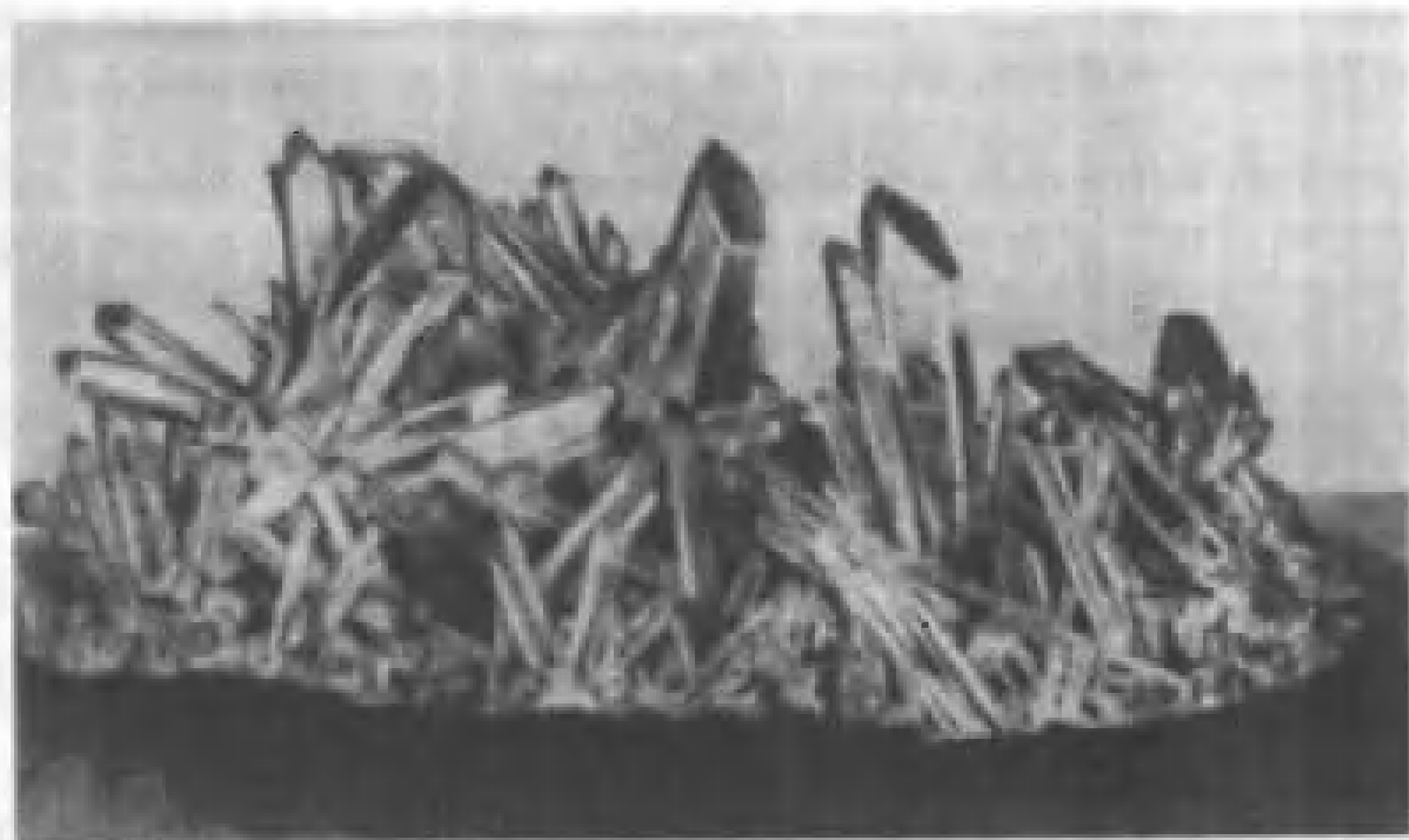
种不太重要的化合物。至于硅的本身，却是一种奇妙的化学元素，它的原子在我们周围的自然界里分布很广，工业上也需用它。

硅和硅石

花岗岩里硅石的含量在 80% 左右，也就是有 40% 左右的硅。大部分坚硬的岩石都是硅的化合物构成的。莫斯科红场的列宁墓上的斑岩，装饰“莫斯科”旅馆的漂亮的花岗石，莫斯科的捷尔任斯基大街上给房子奠基的钠钙斜长石里的暗蓝色闪亮的斑点——一句话，地球上所有坚硬的岩石都含 1/3 以上的硅。

硅是普通黏土的主要成分。普通河岸上的细沙，还有厚层的砂岩和页岩，主要也是硅构成的。因此也就并没有什么奇怪，说地壳的全部质量差不多有 30% 是硅，从地面往下 16 公里几乎有 65% 是硅和氧的主要化合物，就是化学家所说的硅石（SiO_2），也就是我们平常所说的石英。据我们知道，天然的硅石有 200 多种不同的变种，矿物学家和地质学家要列举出这种重要矿物的各种变种，得用 100 多个不同的名字。

我们一提到燧石、石英和水晶，我们就要讲到二氧化硅；我



水晶的晶簇，这是最纯而透明的石英

们欣赏紫水晶，杂色的蛋白石或美丽的光玉髓，黑色的缟玛瑙或灰色的玉髓包括各种美丽的碧石，以及砥石，普通的沙粒，这时候我们也要讲到二氧化硅。硅石的名称繁多，要仔细研究硅这种奇异元素的化合物,恐怕需要有整整的一门科学。

可是自然界里另外还有多得多的化合物，是硅石和金属氧化物结合在一起的。这样结合的结果生成好几千种新的矿物，叫做硅酸盐。

人们在建筑上和日用上都用得着硅酸盐，最重要的是粘土和长石，可以用来制造各种玻璃、瓷器、陶器，用它们做窗玻璃、好的玻璃杯，还让它们在建筑上发挥巨大的力量——与装甲同样结实的混凝土，是铺设公路和街道，做工厂、戏院、住房的钢筋混凝土房顶的一种主要材料。

掌握在人们手里的，还有什么东西能像硅和硅的化合物那样结实而又有多种多样的性质呢?

动植物体里面的硅

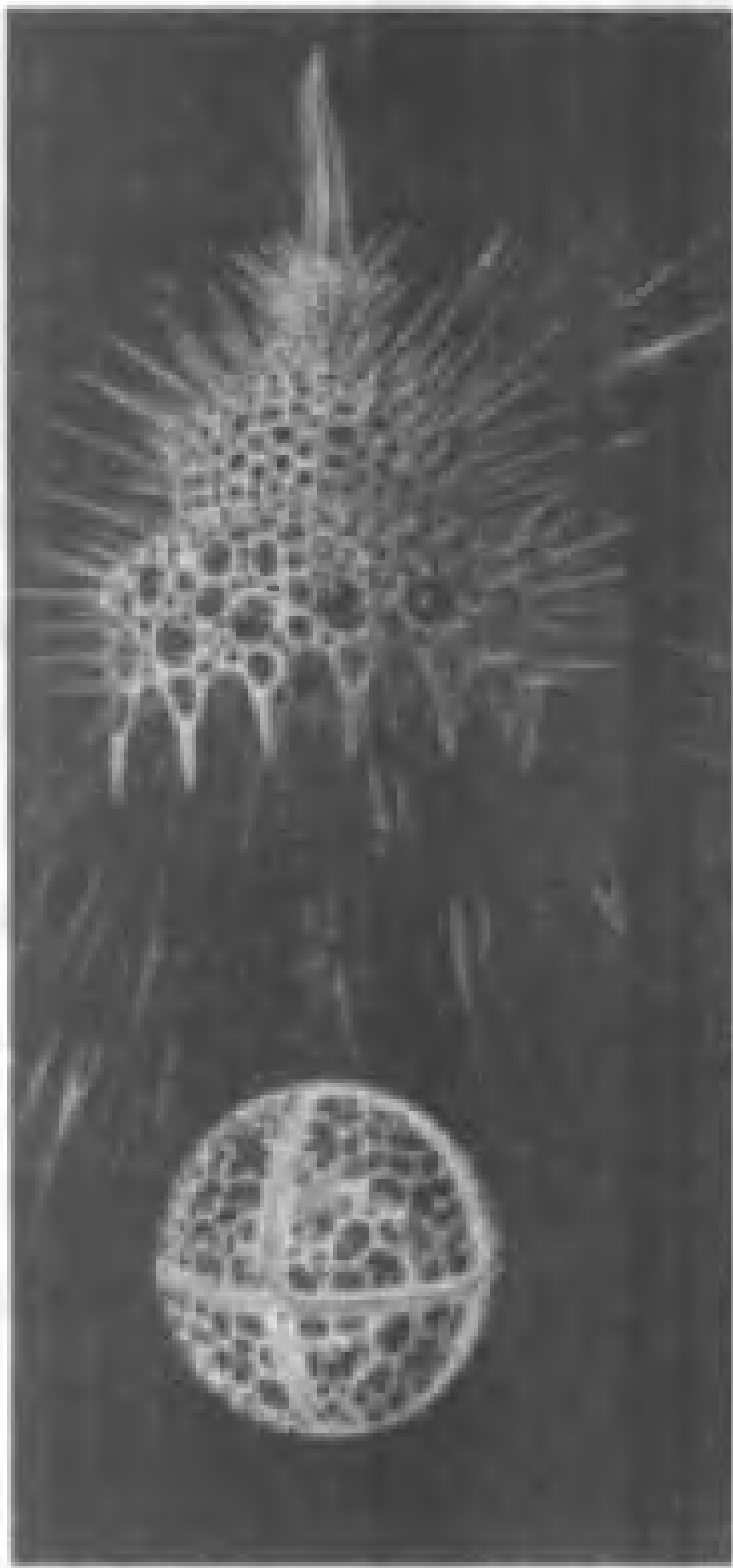
机智的人学会了在技术上使用二氧化硅，但是自然界早走在人的前面，把二氧化硅应用到动植物的生命上。凡是要长成结实的茎和结实的穗的地方，那里的土壤总是含着比较多的硅石；我们知道普通麦秆灰里含的硅石是多么多，特别是像木贼这样茎很结实的植物，这种植物在生成煤的很早的地质时代里长得很茂盛，从低洼的沼地长高到几十米，正像现在苏呼米和巴统公园里参天般高的含硅石很多的竹子一样。可见自然界把机械强度的规律和物质本身的结实性质配合得很好。

茎结实以后，不但对于禾本科植物的穗有很大好处，因为这样能使土地不直接受风吹雨打的影响，就是对于别种植物也有好处。

飞机每天装运着花和各种观赏植物，为了防止花朵发皱和让茎保持挺直，就得在花盆的土里撒上容易溶解的硅酸盐。植物从

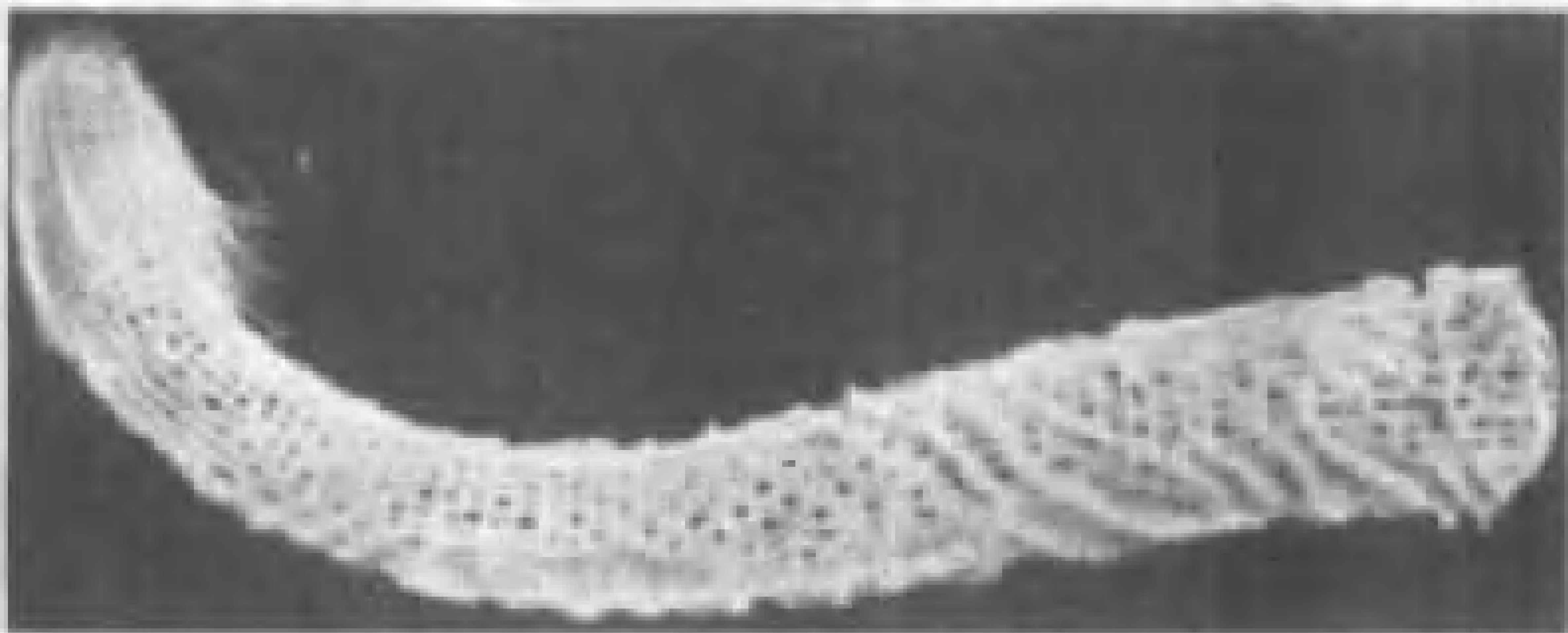
水分里吸收了硅石，它的茎就坚硬挺直起来。

对于植物来说，岂但茎需要硅和硅的化合物来保持挺直，极小的植物硅藻连全部骨架也都是硅石构成的；据现在知道，由硅藻的骨架造成 1 立方厘米的岩层，差不多需要 5×10^6 个这种小植物。



放射虫。从它美丽的硅石外壳的孔隙里伸出活细胞的伪足

而特别奇妙的是有些动物也用硅石来制造自己的躯壳。在动物发展的各个不同的阶段，这个躯壳坚强的问题也用不同的方法来解决。在有的情形它们用石灰质的贝壳来保护自己的躯体，在有的情形它们用磷酸钙来造这种贝壳，也有的除了贝壳以外，还有很硬的骨架来支持躯体，构成这种骨架的物质也有许多种，不过都是结实的。有的是用磷酸钙就像我们骨骼里的那种物质；有



“玻璃”海绵的硅质躯壳。长大约 50 厘米

的是针状的硫酸钡和硫酸锶；而有几类动物就利用结实的硅土来造自己的躯壳。一类叫放射虫的动物就是用细小的针状硅石构成它的独特的柔软的躯壳的。

有几种海绵，它们躯体上硬的部分也是含硅石的细针——叫做针骨。

自然界千方百计地想尽使用硅石的方法，用硅石制成坚固的防御物来保护柔软的、容易起变化的细胞。

为什么硅的化合物那么坚固

近年来我们的科学家试着解答一个谜：为什么动植物的外壳里，千百种的矿物和岩石里，技术和工业上极精巧的制品里，一含有硅便显得出奇地坚固?

X 射线学专家的慧眼摸着了硅的化合物的底，看透了这幅奇异的景象，阐明了硅的化合物为什么那么坚固的道理，解答了它的结构的谜。

原来硅这种元素生成极小的带电的原子——离子，大小只有 4.0×10^{-9} 厘米。这些带电的小球体和氧离子的小球体结合起来，但是氧离子比硅离子大。结果每个硅离子球体的四周紧围着4个氧离子的球体，这4个氧离子互相接触而生成特别的几何形体，叫做四面体。

所有四面体按着不同的规则结合起来，长成复杂的巨大结构，这种结构很难被压缩或者弯曲；要让当中的硅原子和它周围的氧原子分开，那更是非常不容易办到。

据现代科学的解释，这种四面体的结合方法是可以多达好几千种。

有时候在它们之间也有别的带电的粒子；有时候这种四面体结合成带状或片状，形成黏土和滑石，但是不论什么时候什么地方，它们结构的基础总是结合起来的四面体。

在有机化学上，碳和氢可以生成几十万种不同的化合物，同

样，硅和氧在无机化学上也能有好几千种结构，X 射线发现这些结构是相当复杂的。

硅石不但很难用机械方法来破坏，不但坚硬得连锐利的钢刀都制服不了它，而且它的化学性质也非常稳定，因为除了氢氟酸，别的酸没有一种能够侵蚀它或者溶解它的，只有强碱才能把它略微溶解一点[1]，把它变成新的化合物。硅石又很难熔化，在 1600 ～ 1700 摄氏度才开始变成液体。

这样看来，硅石和硅的各种化合物构成无机世界的基础，也就没有什么稀奇了。现在已经产生了整整一门研究硅的化学的科学，而地质学、矿物学、技术和建筑方面的研究道路，也是每一步都跟硅的历史交错在一起的。

硅在地壳里的历史

现在举几个例子来研究一下地壳里硅的命运。地壳深处熔化的岩浆里主要是硅和各种金属。熔化的岩浆在地下深处凝结，就生成结晶的岩石——花岗岩、辉长岩等，假如冒出地面，就变成熔岩流，变成玄武岩等等，硅石的复杂化合物——硅酸盐类——便是这样形成的。如果含硅过多，那么还出现纯粹的石英。

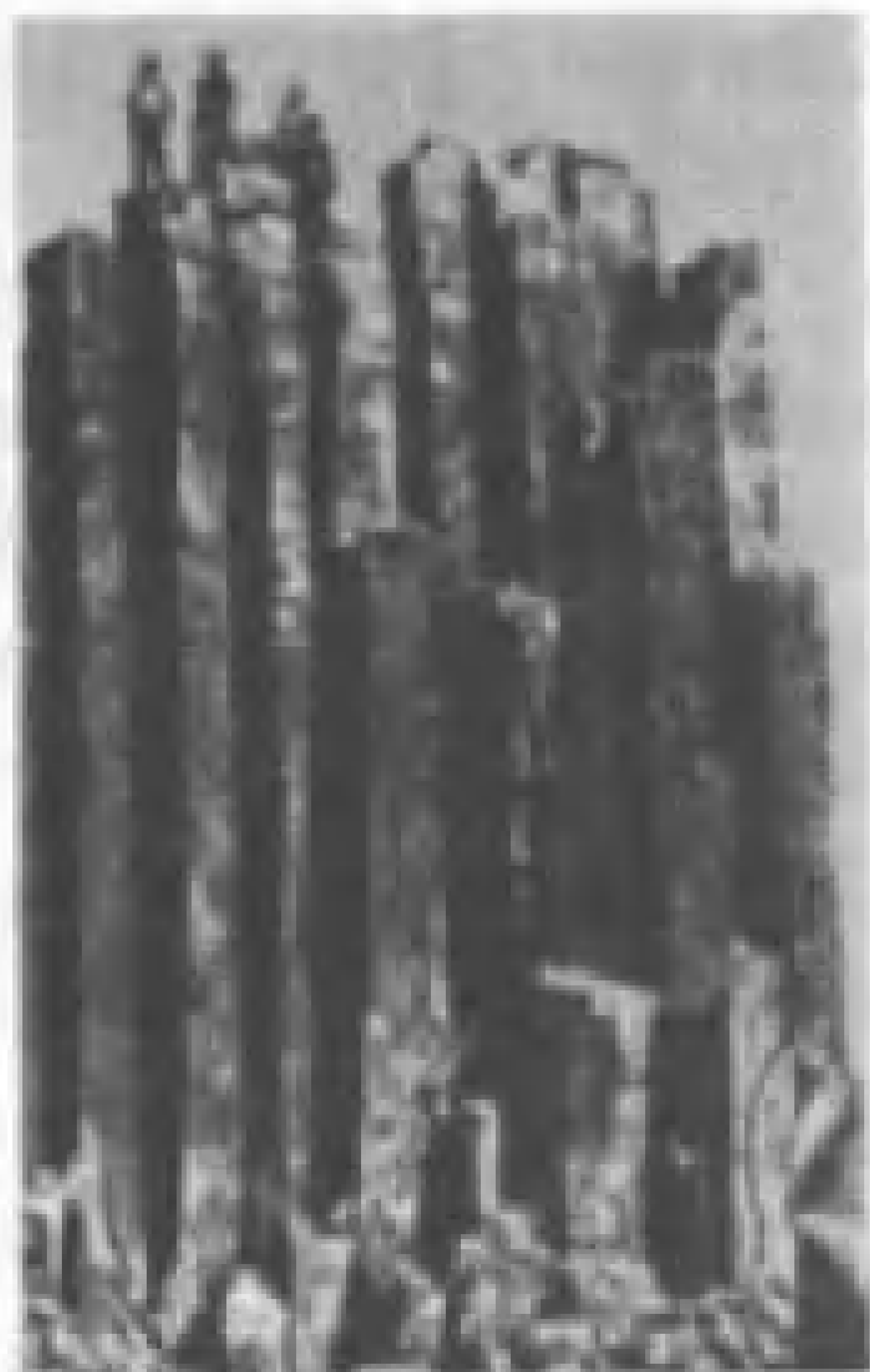
你瞧，这是花岗斑岩里的极短的石英晶体，这是地下深成岩浆最后冷凝的部分——伟晶花岗岩矿脉里的致密的烟晶。烟晶也叫做“烟黄玉”[2]，一定要小心焙烧它的颗粒，或者把它加热到 300 ～ 400 摄氏度，才能生成“金黄玉”，金黄玉可以做成小珠子和胸针一类饰物。

你瞧，这石英矿脉里满是洁白的石英。我们知道，有些矿脉

---

[1] 硅石很容易和钠碱一起熔融，在这个作用过程当中猛烈放出二氧化碳来，生成透明的硅酸钠球体，硅酸钠能在水里溶解。所以我们叫它做可溶玻璃（它的水溶液叫做水玻璃）。——译者注

[2] 这个名称不太正确，因为拿成分来说，“烟黄玉”就是普通的石英（SiO_2），而不是真正的黄玉；黄玉的成分比较复杂，是硅、铝、氟和氧的化合物：$Al_2F_2(SiO_4)$。——编者注



天然的石柱——玄武岩这种火山岩的劈理。在乌克兰罗夫诺省的亚诺瓦谷

长到好几百公里。有的很大的石英矿脉像灯塔似的矗立在乌拉尔山脉的山坡上。乌拉尔山地的石英矿脉就有好几百公里长，里面充满透明的水晶。水晶就是纯净的、透明的石英。希腊哲学家亚理士多德早就提起过水晶，他给水晶起的名字是“晶体”，他以为水晶是冰的化石。也就是这种水晶，在 17 世纪曾经从瑞士的阿尔卑斯山的天然“地窖”里开采出来，那时候一处处开出的水晶加起来多到 500 吨，够 30 节火车车皮装运的。

有的时候，水晶的晶体长得很大。马达加斯加岛上发现过很大的水晶晶体，周围有 8 米长。日本人曾经从一块缅甸产的透明水晶车出一个巨大的球体——直径 1 米多长，质量大约为 1.5 吨。

另外一种硅石，它的外表完全不像我们讲过的那种，它是从熔化的熔岩里沉淀出来的，那时候炽热的水蒸气里充满了硅石，它就在矿脉里或在有气体的空隙里凝结出大块的硅石结核和晶洞，等到岩石破坏成黏土砾石的时候，硅石就成庞大的球体从那里滚落出来，球的直径有长到



石英矿脉的残体，因为这部分地壳比较坚固，在风化作用过程当中保留了下来。高 30 米



硅华——一种普通的蛋白石的沉积物生成的硅华阶地

1米的。

这种硅石球体在美国的俄勒冈州叫做“大蛋”。把它打成碎块，切成薄片，做成美丽的成层玛瑙——这是一种原料，可以用它做钟表和别种精密仪器的“钻”，做天平的棱柱，做化学实验用的研钵。有的时候，火山停止活动以后，喷出物已经凝结，硅石还随着温泉一同涌出地面。冰岛和美国的黄石公园有一种普通蛋白石，便是这样被间歇喷泉带出而沉积起来的。

我们看一看波罗的海和北海海滨的雪白的沙丘，中亚细亚和哈萨克斯坦的几百万平方公里的沙漠；正是沙决定了海岸和沙漠的性质；同是石英质的沙，有的包着一层红色的铁的氧化物，有的含着比较多的黑色燧石，有的被海浪冲打得洁白纯净。

你瞧，这是用水晶做的漂亮的制品。巧夺天工的中国工匠会用各式各样的雕刻工具和金刚砂粉把石英的晶体制成非常奇幻的制品。

中国工匠需要好几十年功夫才能把水晶磨成小花瓶，雕成威

武的龙，或者雕一个装玫瑰油的小瓶！



海滨的沙是细小的石英结晶颗粒。特别纯的可以用来制造石英玻璃

喏，这里还有玛瑙片，它的颜色种类很多。会动脑筋的人把它泡在各种溶液里，这样能把很难看的灰色玛瑙变成洁净的、颜色好看的玛瑙片，用来做各种制品。

而我们的面前还摆着更新奇的景象：美国的亚利桑那州有整片古代的森林变成了木化石，乌克兰西部几省以及南乌拉尔西部山坡的二叠纪沉积层当中，倒下的树干变成了纯硅石质的化石——玛瑙。

这里有一种有闪光的、颜色变幻的石头，很像猫或老虎的眼睛里的“眼珠”。这里又有一种神秘的晶体，它的内部仿佛有别的也是石英的晶体“幽灵”似的在发光。这里像红黄色的尖针的这种矿物是金红石，它横七竖八地穿过水晶的晶体，——像“丘比特的箭”[1]。这里还有一种像金色的薄毡子的矿物——这是“维纳斯的头发”[2]——发晶。这里有一种石头很奇怪，它的内部有孔隙，差不多充满了水，水在这种硅石躯体里闪亮跳动。

这里还有一种说出来不容易叫人相信的能够弯曲的岩石管子，它是石英颗粒受闪电的作用而熔成的，叫做闪电熔岩，普通人也常叫它做“天箭”或“电箭”。这里还有从天外来的石头。穿过澳大利亚、印度支那、菲律宾的长条地带里，有个别地区发现含硅石很多的特别陨石，形状像绿色或棕色的玻璃。

围绕着这类“玻璃”的神秘的成因问题引起过多少争论啊！有人说，这是古代人熔化玻璃留下来的东西；有人说，这是地球

[1] 丘比特是罗马神话里的爱神。——译者注

[2] 维纳斯是罗马神话里的一个女神。——译者注

上熔化的尘埃的颗粒；还有一种说法，说是大块的陨铁落在沙上，沙受热熔化而生成的；但是大部分科学家都倾向这样的说法，认为是从天外掉下来的颗粒……

硅和石英在文化史和技术史上的地位

读者们，我在前几节给你们描述了石英、硅石和硅的化合物的复杂历史。从炽热的熔化物质的地球内部到它寒冷的表层，从整个宇宙的范围到铺在人行道上薄冰上的沙，——我们随处可以遇到硅和硅石，到处都是石英，石英的确是世界上最值得注意和分布最广的矿物之一。

关于石英的历史，我本想讲到这里为止，但是我还得多说一些，因为石英在文化史和技术史上的意义是非常大的。原始的人类首先用燧石或碧石制造工具，埃及最初也用石英来装饰最古老的建筑物，美索不达米亚残存的苏马连文化的遗物里也用石英，东方人早在公元前 1200 年就会把沙和碱混合熔化来造玻璃，这一切都不是没有原因的。

波斯人、阿拉伯人、印度人、埃及人替水晶找到了非常广泛的用途。据我们研究知道，人们早在 5500 年前就会磨制水晶。古希腊人在好几百年里一直认为水晶是冰的化石，是冰根据神的意志变成石头的。

从前人对于水晶想出了许多奇幻的故事。圣经非常重视水晶。建造耶路撒冷著名的所罗门寺院的时候用了大量的这种矿物，而且用的种类很多：玛瑙、紫水晶、玉髓、缟玛瑙、鸡血石，等等。

从 15 世纪中叶起才有水晶加工业。人们会把它锯开，研磨，上色，并且广泛地用它做装饰品，但是这只是个别的手工业者在那里做，直到后来新的技术提出了比较广泛的要求，水晶工业才有比较大的规模。现代工业和无线电技术都要用水晶，无线电技术用压电水晶片来检测超声波，把超声波变成电振动。水晶



列宁格勒(彼德堡)国家音乐馆的水晶挂灯

也已经变成现代工业上最重要原料的一种。

从前用水晶雕过笛子(现在陈列在维也纳艺术博物馆里)，也雕过透明的俄国式的水壶(现在保存在莫斯科的武器库博物馆里)；后来石英的用途改变了，把它做成小小的石英片供无线电用，因而促成了人类史上最伟大的发明之一——把电磁波传到遥远的距离。



这一切都是用石英玻璃造

而化学家不久还要制造石英——纯水晶。人们要在大桶里装满液体玻璃，在高温高压下用细银丝伸到桶里去，让细银丝上结出水晶的晶

体——供无线电用的纯净的水晶片，还可能做成窗玻璃或容器。

人体需要太阳的紫外线照射，但是普通窗玻璃透不过紫外线，用人造水晶做窗玻璃，就能让紫外线穿到室里来。将来还会用熔化的石英做杯子，这样的杯子在电炉上灼热以后放进冷水去也不会破裂。

把石英做成细丝，可以细到500根丝加起来才像火柴杆那样粗，用这种细丝可以织成非常柔软的衣料；硅石不但是构成微小的放射虫的躯壳的材料，也会变成人们的衣服的材料；它用细丝保护了人体……

水晶成了新的技术的基础，不但地球化学家用它做温度计来测量成岩作用与成矿作用的温度[1]，不但物理学家需要它帮助来确定电磁波长，而且它在不同的工业部门里打开了新的动人的远景。眼看石英就要变成我们日常用到的东西了。

化学家和物理学家把硅原子抓得越紧，研究得越透彻，他们就能更快地写下科学史上和技术史上最值得注意的一页，同时也是地球本身的历史上最值得惊异的一页!

碳——一切生命的基础

你们有谁不知道闪烁着各种颜色的贵重的金刚石，灰色的石墨和黑色的煤炭?这3种东西在自然界里只是形状不同，其实是同一种化学元素——碳。

碳在地球上的含量比较起来不算多：它才占地壳总质量的1%。可是它在地球化学上起的作用非常大：没有碳就没有生命!

---

[1] 假如水晶在575摄氏度以上的温度结晶出来，它就生成特别的六角双锥体。但是如果在575摄氏度以下的温度生成晶体，那么它的结晶形状又是一样，是长的六角柱体。——俄文版编者注

碳在地壳里的总含量是45 842 000亿吨。下面是碳在各部分地壳里的分布量：

在活的物质里…………………………………… 7000亿吨
在土壤里………………………………………… 4000亿吨
在泥炭里……………………………………… 12 000亿吨
在褐煤里……………………………………… 21 000亿吨
在烟煤里……………………………………… 32 000亿吨
在无烟煤里…………………………………… 6000亿吨
在沉积岩里………………………………… 45 760 000亿吨

此外在大气里还有碳22 000亿吨，在海洋的水里有碳1 840 000亿吨。

活的物质里都含碳，有一门化学就是专研究碳的，我们现在也来认识一下这种元素的历史吧。这种元素在地壳里经历的道路是多么神秘啊，我们在这方面则知之甚少！

从现在我们所能研究到的深度来看，碳的生命史上的第一个阶段是熔化的岩浆。这种熔化物在地下深处和在岩脉里凝成各种岩石，碳在这些岩石里有时候聚集成片状或球状的石墨，有时候生成贵重的金刚石晶体。但是大部分的碳都在岩体凝固的时候跑掉：有的生成容易逸散的烃和碳化物从岩脉升上来，聚集成石墨（例如斯里兰卡就有这样生成的石墨），有的跟氧气化合成二氧化碳，升到地面上来。

我们知道，万能的硅酸在地下深处是不可能让二氧化碳生成碳酸盐的。实际上也的确是这样，在我们所知道的各种火成岩里面，没有一种重要的矿物是含有二氧化碳的。然而火成岩会把二氧化碳机械地截留在岩石的空隙里面（正像截留含氯的盐类的溶液那样），留在这种空隙里的二氧化碳分量极多——多到是我们大气里所含的五六倍。

不但在活火山的地区里，甚至在第三纪早已熄灭了的死火山地区里，地下都常有二氧化碳喷到地面上来：或者跟别的容易逸

散的化合物在一起聚成气流，或者跟水混在一起形成碳酸矿泉。

人们利用这种矿水来治病，所以在这种矿泉的附近开设了许多疗养院和水疗院，例如在高加索便是这样。二氧化碳在这种水里是过饱和的，所以水面上经常有二氧化碳的气泡冒出来，使人看了觉得水像在沸腾似的。

但是如果你到乌拉尔去，你却找不到这种碳酸矿泉。根据地球化学的解释，高加索和乌拉尔这两处水的成分之所以不同，是因为乌拉尔山脉的隆起比高加索山脉早得多，因此在山脉形成时，地底下的岩石已经凝固了。

至于高加索，那里山底下非常深的地方还保留着热源。这个热源附近的岩石(白垩岩、石灰岩)都含二氧化碳，这些岩石受到热的作用就有一部分分解而把气体状态的二氧化碳放出来，然后二氧化碳跟矿泉一起顺着地层的裂缝涌出地面。

还有这样的情况，地面下的二氧化碳气流喷出来的时候太凶猛，压力太大，以致气流在喷出的过程当中会在喷出口的四周生成云雾和固态的二氧化碳“雪”。有些地方像这种天然的二氧化



石炭纪的植物，煤就是由这些植物变成的

碳气流生成的固态二氧化碳，工业上就拿来当做干冰使用。

地质史上有过这样的时代，那时候火山活动得非常厉害，把大量的二氧化碳喷出到大气里去；还有过这样的时代，生长得非常茂盛的热带植物整批地死掉而重新还原成天然状态的碳。拿作用的规模来说，人在工厂里的那种生产过程比起地球上的这类自然作用来就太逊色了。

活火山总是大量地喷出二氧化碳，例如维苏威火山、埃特纳火山、阿拉斯加的卡特迈火山等等。火山喷出的气体主要就是二氧化碳。

二氧化碳喷出到地面上来以后就成了许多种化学变化的重要因素，就开始进行破坏作用；跟在地下深处相反，一到地面，占统治地位的就不是硅酸而是二氧化碳了：二氧化碳破坏火成岩，腐蚀金属，跟钙和镁化合而聚集成石灰岩和白云岩；海洋江湖等等贮水的地方总是含有大量的碳酸盐，有些生物就利用碳酸盐来构成它们的外壳，珊瑚虫也利用碳酸盐来构成它们的坚硬的躯体。

我们不可能把碳在地面上所起的这类缓慢的变化的意义估计得十分周到，因为这类变化不但影响到地面上的气候，而且控制着整个生物界在进化过程当中的演变。

请想一下，假如地球上没有碳会成什么样子。那不就是说，连一张绿叶、一棵树、一根草都没有了吗?不但没有植物，连动物也没有了。那样的地球只能是各种岩石构成的光秃的峭壁矗立在一片死寂沉静的沙漠和荒地上面。同时也不可能再有大理岩和石灰岩，这两种岩石把地球装点成白色的那种景观再也看不见了。煤和石油也都不可能有。既然没有二氧化碳，地面上的气候也一定还要冷些，因为大气里的二氧化碳是能够帮助吸收太阳的光能的。

没有碳的话，水也会走样，会变得死寂。

碳的化学性质非常特别。在所有化学元素里面，只有碳能够跟氧、氢、氮和别种元素生成无限多的化合物。碳所生成的这类

化合物叫做有机化合物，好多种有机化合物又能生成极其多样的、复杂的蛋白、脂肪、糖、维生素和许多种别的化合物而含在生物体组织和细胞里面。

从“有机化合物”这个名称本身看出，人是先从动植物体组织里析出了糖和淀粉一类的碳的化合物而认识这一类物质的，后来才学会用人工方法把好多种这一类物质制造出来。专门研究碳和碳的化合物、研究这些化合物的合成和分析的一门化学叫做有机化学，现在有机化学里已经知道的有机化合物在1000万种以上。我们实验室能够制造的无机化合物有10万种以上，而天然的无机化合物，也就是矿物，不到3000种，这样一比较就知道有机化合物比无机化合物多得多了。

有机化合物既然那么多，它们的名称就越来越长，越来越复杂。拿著名的痢疾药“阿的平”来说，它的全名是“甲氧基-氯二乙氨基-甲丁氨基-吖啶”。

由于碳可以生成无数的化合物，结果就产生各种各样极其繁多的动植物品种，现在世界上的动植物至少有几百万种。

然而这并不是说，碳是活的有机体——也就是地球化学上所说的活物质——的主要成分。碳的活物质里只占到10%左右，活物质的主要成分是水，大约占80%，剩下的10%左右是别种化学元素。

既然生物体有摄取养料、发育和繁殖的能力，就会有大量的碳参加着活物质的生活作用。你们也看见过好几次了吧：春天池塘水面上逐渐长起一层绿色的水藻和别种植物，到夏天这些水藻长得最盛，而在快到秋天的时候就变成暗褐色沉到池底里，于是就生成了含有机物很多的底层淤泥。后面还要讲到，这样的淤泥正是煤和植物淤泥——“煤泥”的开端，“煤泥”可以用来制合成汽油。

动物呼吸的时候要呼出很多的二氧化碳。

例如，人的肺泡的总面积差不多有50平方米，平均每昼夜

呼出 1.3 千克的二氧化碳。

全人类每年呼出到大气里去的二氧化碳有 10 亿吨左右。

最后，地底下还储存着更大量的化合状态的二氧化碳，那就是石灰岩、白垩岩、大理岩和别种矿物，这些物质生成的岩层厚到几百米甚至几千米。假如我们把含在这些物质里的碳酸钙和碳酸镁里的二氧化碳完全分解出来放到空气里去，那么二氧化碳在空气里的含量就会比现在的含量多到 25 000 倍。

空气里的二氧化碳有一部分溶解在海洋的水里。植物的机体便从空气和水里摄取二氧化碳。海水里二氧化碳的含量一少，空气里的二氧化碳就随时进去补充。海洋的广大水面的作用就像一个巨大的唧筒，可以不断地把二氧化碳吸收进去。

植物吸收二氧化碳，这是二氧化碳在活物质内部循环的第一步。正是绿色植物的叶子，在光的照射下捉住了二氧化碳，把它变成复杂的有机化合物。这个作用叫做光合作用，参加这个作用的是光，还有植物体里面叫做叶绿素的一种绿色物质。俄罗斯天才的科学家季米里亚捷夫（К. А. Тимирязев）第一个阐明了自然界里光合作用的巨大意义，他对这个作用进行了详细的研究。由于光合作用，全世界的植物在一年中带走空气里相当多的二氧化碳。但是空气里的二氧化碳含量不会减少，因为水里和动物体组织都不断地分解出二氧化碳补充到空气里去。

光合作用的结果就生成了大量的有机物——植物体组织。植物充做动物的食料，保证了动物的生存和发育。假如再考虑到石油和煤也都是腐烂的生物体变成的，那么植物摄取二氧化碳这个作用在地球化学上的重大意义就更清楚了。从地球化学的效果来看，地球上再也没有比植物的光合作用更重要的作用了。

前面已经说过，植物把二氧化碳变成有机化合物，植物又是动物的食料，可是碳的循环并不是到了动物体里就完了。生物体是会死掉的。死掉的生物体组织就在池塘、湖沼和海洋的底部沉积起来，大量地沉积成泥炭。这些残余的生物体受到水的作用而

逐渐发酵腐烂。微生物把生物体原来组织的成分改变得很厉害。死掉的生物体里最坚持不变的是植物的纤维素，植物的木质。

残余的生物体便埋在厚层的沙和黏土底下。

然后，残余的生物体受到热和压力的作用，并且经过复杂的化学变化，看它们本身的性质和周围的条件而逐渐变成煤或石油。

残余的植物机体经过分解以后，剩下的固态的碳有 3 种形态：无烟煤、烟煤、褐煤。

无烟煤含碳最多。拿显微镜一看就知道烟煤和褐煤都是植物性物质，都是由植物变成的。这些煤都是成层的，每两层之间有的地方还有叶子、胞子和种子的痕迹，这种情况连肉眼都能看出来。每一块煤都是二氧化碳里所含的碳，而这种二氧化碳便是植物起初仗着太阳光线的能量和叶绿素的作用而吸收到活细胞里去的。

“捕捉到的太阳光线”——这就是指煤而言的。实际上也的确是这样，每一小块煤里都储存着植物捕捉到的太阳光线；太阳光线被捕捉到以后先变成复杂的植物体组织，然后在植物体的缓慢分解过程当中逐渐改变形状。煤的热能可以用来烧热工厂和海轮的锅炉，转动巨大的机器，煤的开采促进了现代工业的飞快发展。

全世界每年开采的煤多到10亿吨以上，这个庞大的数字远远超过了任何别种矿物的开采量。从已经勘探到的煤的储藏量来看，苏联占全世界第二位。但是苏联的工业在不断发展，尽管苏联煤的储藏量非常丰富，也只够 100 ~ 200 年用的。


褐煤的露天开采

所以苏联人民应当继续勘探本国的地下富源，好增加这种宝贵物资的实际储藏量。煤



巴库油田里的石油喷泉造成了石油湖。差不多不停地连续喷发了3年

不但可以发热，而且人们还能从煤里提取有价值的产物，这些产物就是煤的化学工业的基础。苯胺染料、阿司匹林、消发灭定都可以从普通的煤来制出。

植物体组织的细胞主要是变成了煤，而另一些极简单的植物体和它们的胞子却变成了一种液态的有机物——石油；石油这种可燃性液体是一种特别的“捕捉到的太阳光线”，它比煤更有价值。现代高速度的舰船、飞机和汽车都非用石油——从石油经过提炼和蒸馏得到的纯净的汽油——不可。有几种煤也可以用人工方法制出汽油来，但是适合这种用途的煤不太多，炼得的汽油量也少，质地也比较差。为了寻找石油，人们钻凿了好多处4公里多深的油



巴库油田里森林般的油井架

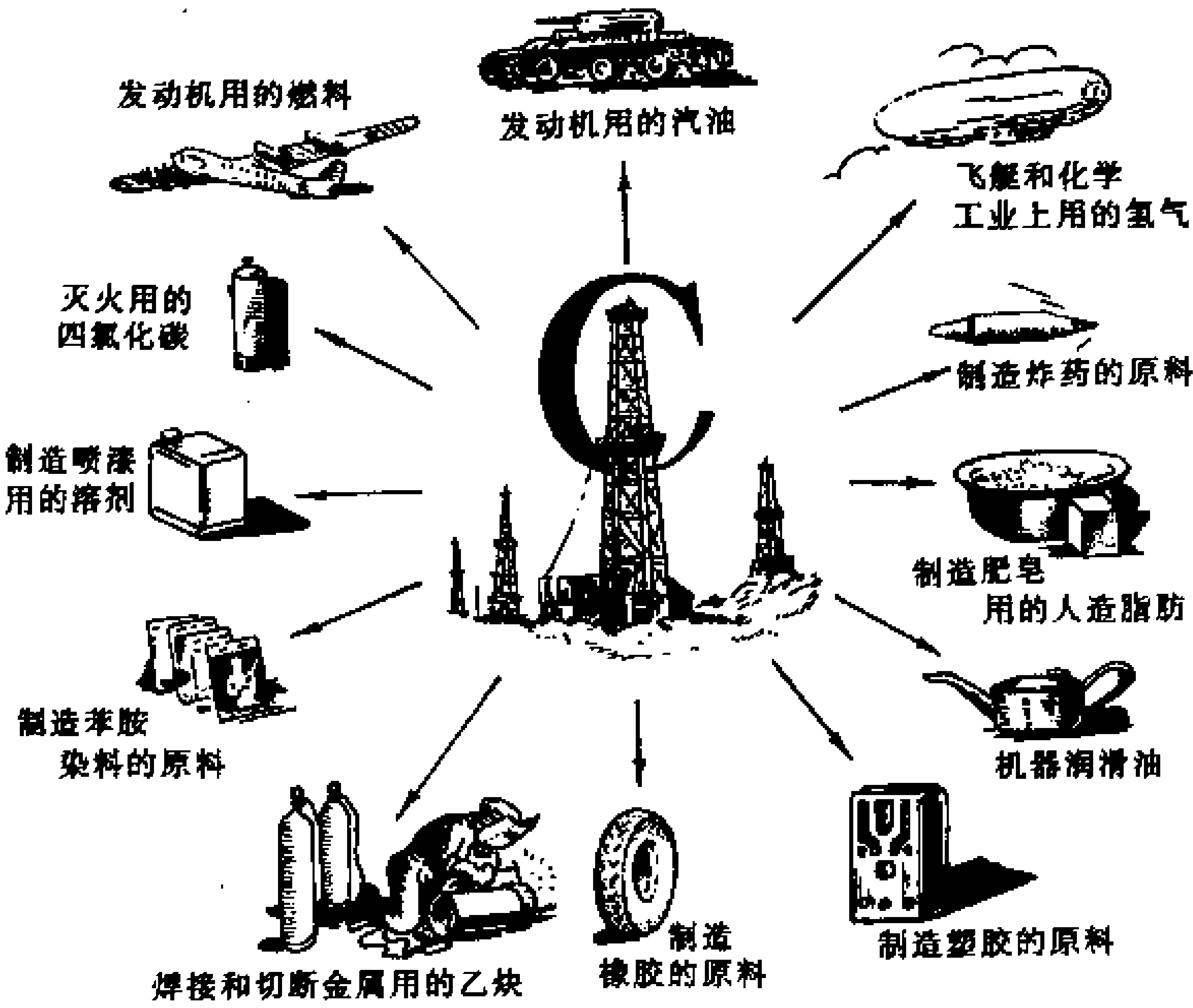
井，从地底下取出这种珍贵的液体——“地球的黑血”。

油井可以连续开采几年。油井在地面上是一个复杂的建筑物，是一座 37 ～ 43 米高的高塔。油井架像森林般地矗立着，从远处看去非常壮观。高加索、乌拉尔西部山坡、中亚细亚和库页岛都有这样的油田。伊朗、美索不达米亚和地球上别的地方，也有储藏量很丰富的石油。

由于煤和石油的开采，碳这种元素就又从地下深处跑到地面上来；这次是人叫它跑上来的；人类为了生存，为了掌握储藏在自然界里的能量而不断地进行斗争，每年烧掉的煤在 7 亿吨以上。

为了取得热能，人就把所有可燃性物质变回成二氧化碳和水。

这样，人跟自然界相互间进行着斗争，对碳起着相反的作

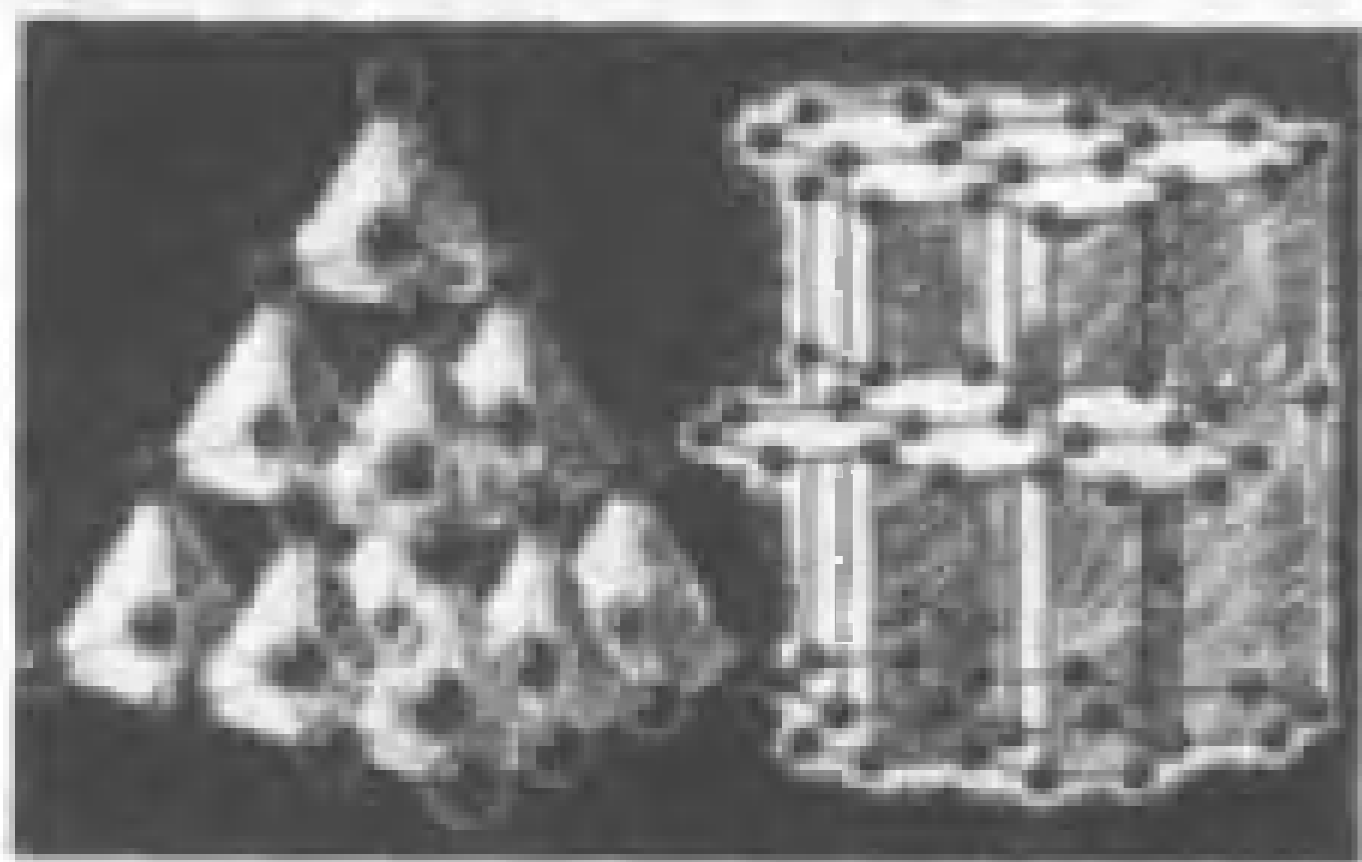


石油在各种生产上的应用。石油经过化学加工以后能够生成极多种产物，图里只画着这些产物的一小部分

用：人使碳氧化，而自然界却使碳从化合态变成游离态。

但是，前面已经说过，你们也都很清楚，除了煤以外，纯净的碳还有两种有趣的变种——金刚石和石墨。金刚石很贵重，能闪烁发光，而石墨却是普通灰色的东西，我们能够用来写字，这两种物质是多么不一样啊！物质的性质不同，我们总是解释为它们的成分不一样。但是拿金刚石和石墨来说，它们的性质之所以不同，是由于它们的晶体里面碳原子排列方法不同的缘故。

碳原子在金刚石晶体里排列得非常紧凑。所以金刚石的密度非常大，它的硬度也比一切别的矿物的硬度都大，它的折光率也特别高。



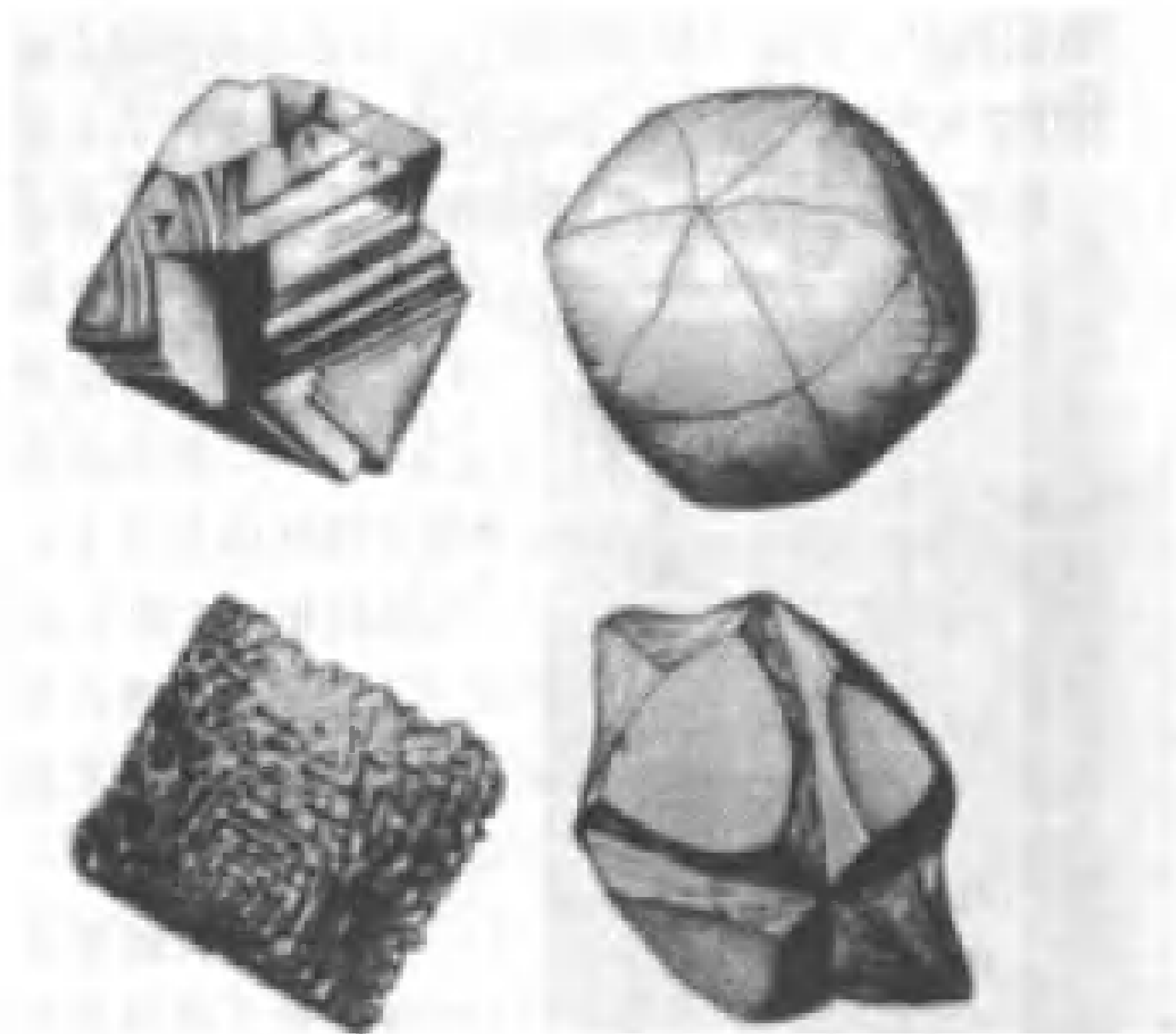
金刚石和石墨的成分都是碳，但是碳原子在这两种矿物里的排列方法不同。在金刚石(左)里，每个碳原子的周围都有4个碳原子，和中心的碳原子保持等距离（成四面体） 在石墨(右)里，碳原子排列成层，层和层之间结合得并不紧密

金刚石只有当熔化的岩石在30个大气压(约 3.039×10^6 帕)那样大的压力下才能结晶出来，有时候生成金刚石的压力竟高到60 000个大气压(约 6.078×10^9 帕)。

这样大的压力只能在地面下60～100公里的深处存在。岩石能从这样深的地方钻出地面上来的太少了，这也就是金刚石在自然界里非常稀少的原因。由于金刚石的硬度大，又能反光，所以它的价值很高，它在一切宝石当中占第一位。琢磨过的金刚石叫做钻石。

印度自古以来就以出产金刚石著名，那里的金刚石是从沙里采出来的。后来巴西(1727年)、非洲(1867年)和苏联也先后发现了产金刚石的沙地。现在全世界产金刚石最多的地方是非洲，产在橘河右岸的支流瓦尔河流域。

起初是在瓦尔河河谷的沙地里开采金刚石，可是不久发现离河很远的小山坡的蓝色黏土里也有金刚石。于是又赶快开掘这些蓝色黏土，这样就开始了“金刚石热”：许多人抢着收买一块块(3 米×3 米的)蓝色黏土地区，那里的地价突然涨高到好几百万倍，他们把地买到了手就在地面上开挖巨大的深坑。坑里的人群像蚂蚁似的忙着开采矿石。从坑底到地面架设了许多线路，把开出来的珍贵的黏土往上运出去。



天然金刚石的原来形状(1911 年阿·费尔斯曼绘)

但是挖不太深，就把黏土挖尽了，往下是一种坚硬的绿色岩石—— 角砾云母橄榄岩。果然这种岩石里也含金刚石，可是开采起来比较困难，作业的方法复杂繁难，代价又高，于是小地主就一个个被迫停止开采了。这件工作停顿了一个时期以后，资本雄厚的股份公司重新开采起来，那已经是用竖坑作业法来进行开采了。

含有金刚石的岩石藏在地下很深的地方，那种深度是人们难以达到的。从前火山爆发的时候，地下深处生成了孔道，这种岩石便填充在这种孔道里面。

地面上已经知道的由于火山爆发生成的这种漏斗状火山口有15处，最大的一个直径长到350米，其余的也有30～100米。

金刚石散在角砾云母橄榄岩里的颗粒很小，质量不到100毫克(半个克拉)，但是有时候也能开出很大的颗粒来。在很长的时期里面，最大的一颗金刚石叫做“超级钻石”，质量是972克拉[1](合194克)。1906年开出了更大的一颗金刚石，叫做“非洲之星”，质量为3025克拉(合605克)。通常金刚石超过了10克拉(合2克)就很稀罕，价值已经很昂贵。一般最名贵的钻石的质量是40～200克拉(约8～40克)。此外，有一种金刚石叫做钻石屑，还有一种黑色的金刚石叫做“黑金刚石”，这两种金刚石的价值也都很高，因为要用它们来钻岩石。制造制金属丝的车床，例如制造电灯泡里钨丝的车床上，需要用颗粒相当大的金刚石。



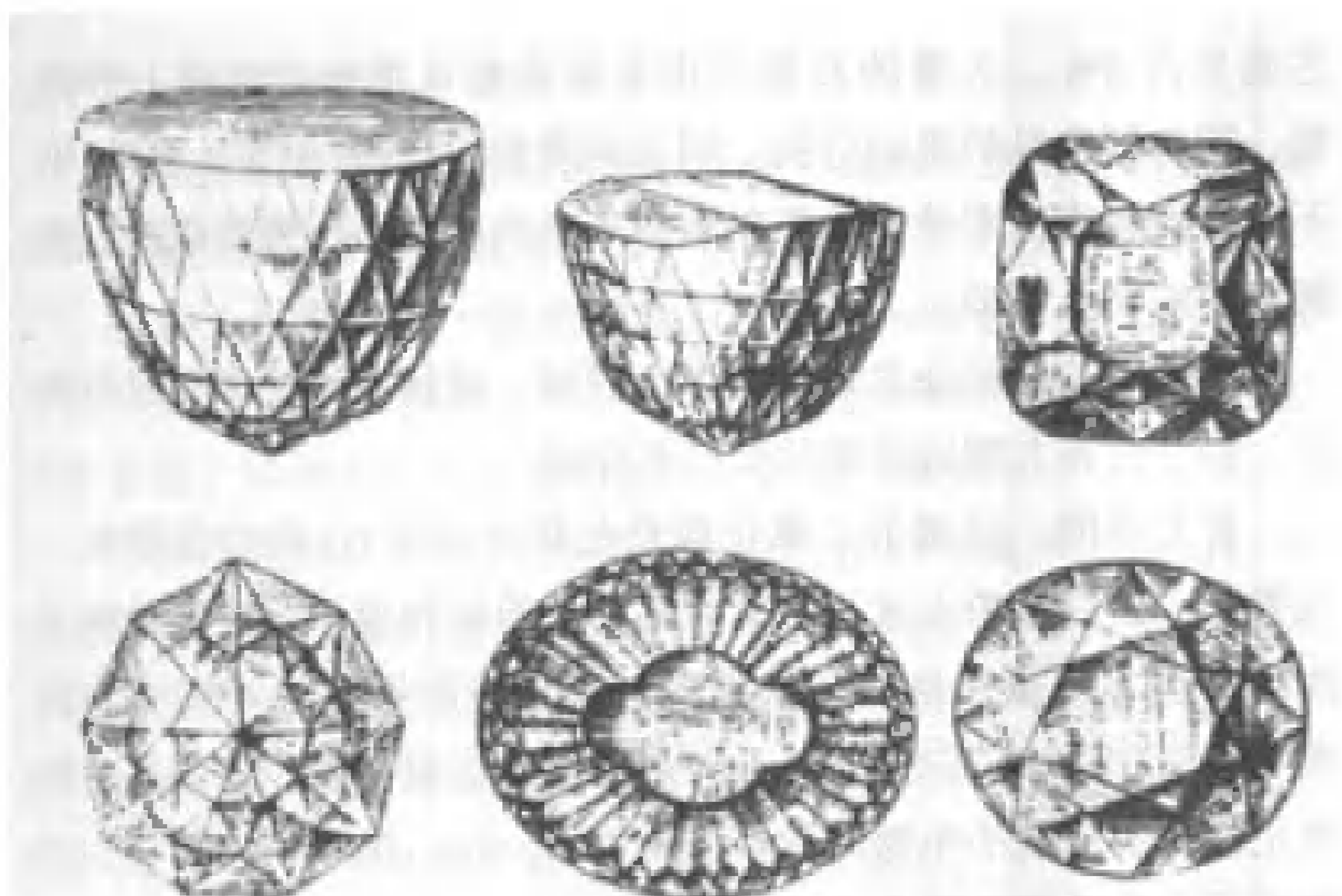
1880年南非洲金伯利郊区金刚石矿坑的开采工作。图示许多铁索贯通上下，给这块小地区的主人把矿石运上去

石墨也是碳，可是它跟金刚石在性质上相差多远啊！

石墨里的碳原子成层地分布着，所以很容易分开。这种矿物不透明，有金属光泽，性质柔软，容易成片剥落，能在纸上留下痕迹。它很难和氧化合，在极高的温度下也不起变化，所以它特别耐火。

有两种情况可以生成

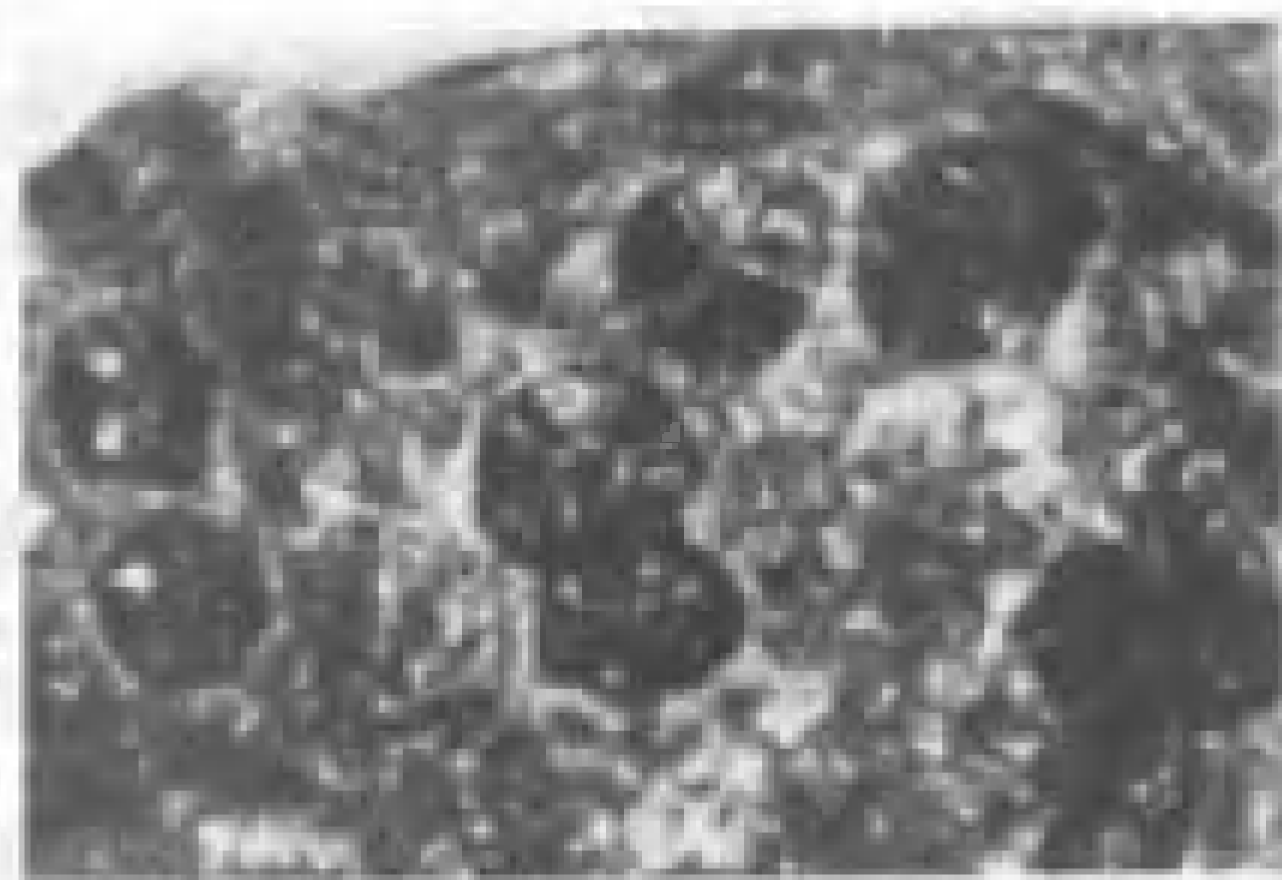
[1] 1克拉等于200毫克(下同)。　　编辑注



世界上最大的钻石。上排从左起："蒙兀儿大帝"，加工以前质量为 156 克；"奥尔洛夫"，质量为 38.8 克；"摄政王"，质量为 27.4 克。下排从左起："佛罗伦萨人"；质量为 28 克；第一次琢磨的和第二次琢磨的钻石"柯依努尔"，质量为 37.2 克和 21.2 克

石墨：或者是在火成岩生成的时候，岩浆里冒出来的二氧化碳分解以后变成的，或者是由煤变成的。西伯利亚著名的石墨矿床属于前一种情形。西伯利亚凝固的火成岩——霞石正长岩里有非常纯净的石墨晶体。叶尼塞河流域也有储藏量非常丰富的石墨矿层。这儿的石墨是由煤变成的，所以含的灰分很多。

如果我们每天都用铅笔写字，那就是每天跟石墨打交道。制造铅笔芯的时候要把石墨跟纯净的黏土混合在一起，黏土用量的多少决定铅笔的软硬，硬铅笔里黏土用得多，软铅笔里黏土用得少。制好的铅笔芯就嵌在木条里，再把木条胶合起来。但是开采出来的石墨，用来制造铅笔



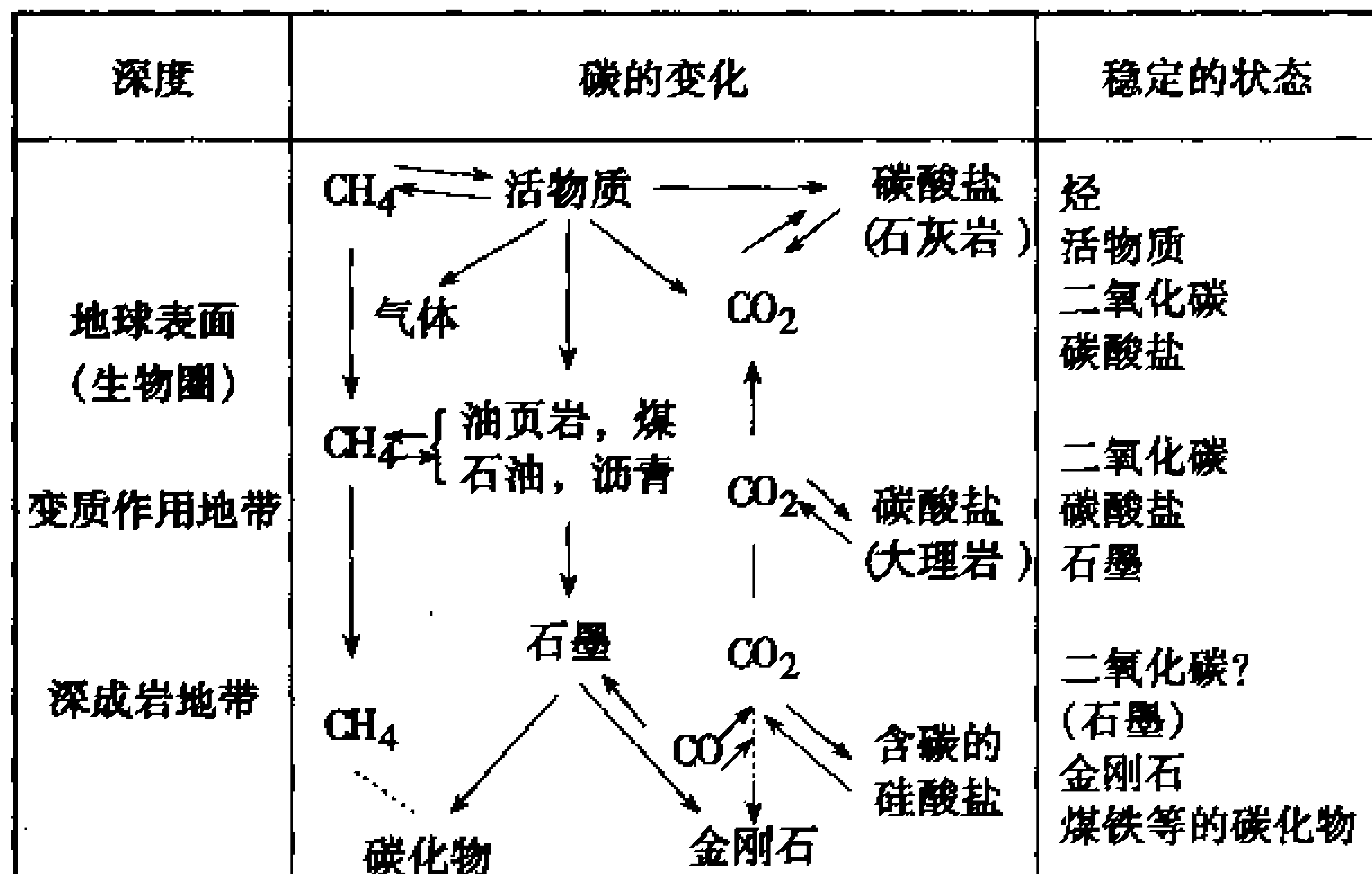
散在火成岩内部的星形石墨晶体。产在乌拉尔南部的伊尔明山

芯的只占 5% 。大量的石墨都用来制造耐火坩埚来熔炼上等的钢，用来制造电炉里的电极，用来润滑重的机器(例如轧钢机)里不断受到摩擦的零件；石墨粉末用来撒在沙箱——铸造机器上金属零件的黏土铸型上。

我们还差一部分二氧化碳没有讲到，就是在地层里形成石灰岩、白垩岩和大理岩的那部分二氧化碳。

首先要问：这部分二氧化碳是怎样生成的?这倒容易答复。只要拿一点白垩粉末放在显微镜底下一看就知道了。在显微镜下面我们会发现微小的古代生物的世界。我们看到许多微小的圆圈、棍棒和晶体，它们的样子大多数都很小很好看。它们是叫做根足虫一类的微小生物体的石灰质骨架。这一类小动物有几种到现在还能在热带的海水里遇到。根足虫的骨架含的是碳酸钙，根足虫一死，大量的骨架就形成岩石。但是，参加石灰质岩石的生成作用的不只有低级的微小的生物体，海洋里另外有许多种动植物的骨架也含碳酸钙。这类骨架也能在石灰岩里发现。

根据石灰岩里有机体的残骸，科学家就能断定这种石灰岩是



碳在地球化学上的循环

在什么时候形成的。

根据地球化学上最近的研究，全世界煤和石油的存量跟石灰岩的存量之间有规律性的比率,这个比率已经有办法算出来。

因此，根据每一个地质时代石灰岩的生成量，可以约略估计当时生成了多少煤和石油。地球化学上得到的这个结论有极大的价值，即使实际算出来的数字还不完全准确。

许多年代极久的石灰岩受到压力的作用变成了大理岩；在大理岩中，有机体的任何微小的痕迹都不见了。在大理岩中积压了千百万年的二氧化碳，已退出了碳的循环。除非大理岩附近什么地方有造山运动和火山作用，大理岩才会受热而放出二氧化碳，以把二氧化碳重新带到碳的循环里去。

可见，地球上的各种化学变化在永恒地循环着，大自然的本身在这个循环里保持着平衡。

磷——生命和思想的元素

磷是自然界里奇异的元素，我给你们讲两段故事，好让你们了解它的历史。前一段故事离开现在比较远，发生在17世纪末，后一段是现代的。然后我预备根据这两段故事做出结论，给你们描述关于磷的奇异的历史；要知道，没有磷的话，既没有生命，也没有思想。

*　　*　　*

黑暗的地下室，墙的一面高高地开着一扇格子窗，透进微弱的光线。炉子里生着火，连着铁匠用的大风箱，还有巨大的曲颈瓶，上面缭绕着一缕缕的烟……墙上四周有各种题词、阿拉伯的名句、五角星、天文学上的计算、星空和天体的图。桌上和地上摆着厚厚的用厚皮做封面的旧书，书里标着莫名其妙

的神秘记号。地上还有碾盐用的大钵、成堆的沙和人的骨头、盛着“活水”的容器，桌子上是闪亮的水银滴、精巧的玻璃杯、曲颈瓶，以及黄色、褐色、红色、绿色的溶液。

这就是古代炼金术士的实验室，一个白发苍苍的炼金术士把自己关闭在这个环境里，已经和外界隔绝了许多年。他想把银子变成金子，他希望利用神秘的燃烧力量，好从一种金属制得另一种金属。



中世纪的炼金术士在实验室里

他想尽了方法让各种粉末和人的骨头溶解，他把人和各种动物的尿蒸发干，他希望炼出“哲人石”，这种哲人石可以把普通金属变成贵重的金子，人吃了会返老还童。

17 世纪的炼金术士便在这种神秘而复杂的环境里解决化学上的问题，但是他想把水银变成金子和从骨头里炼出哲人石却是枉费心机。连做几年实验，还是毫无结果。炼金术士把各自的实验室严加保密，把秘方和记录的厚本子都藏了起来。

1669 年，汉堡有一个炼金术士突然走起运来。他为了找寻

哲人石，把新鲜的尿蒸发干，再把剩下的黑色的渣滓加热。起初是小心地加热，后来用旺火猛烈加热，他发现盛着残渣的管子的上部逐渐聚集了白蜡似的物质，使他惊喜的是，这种物质竟会发光。

这个炼金术士的名字是布兰德，他对于这个发现一直严守秘密。别的炼金术士一步也别想迈进他的实验室。当时有势力的王公都到汉堡来想收买他的秘密。这个发现造成了很深的印象，17世纪最大的学者都关心这个发现，以为哲人石真的炼出来了。这种哲人石发出冷的安静的光；这种光叫做“冷火”，而发光物质本身给起一个名字叫“磷”(磷这个名字的希腊文意思是“带光的”)。

英国最著名的化学家之一波义耳和17世纪的哲学家莱布尼兹对于布兰德的发现非常注意。不久，波义耳有一个门生兼助手在伦敦也制得了磷，他的制法非常成功，所以竟在报上登广告说：

“化学家汉克维兹住伦敦某某大街，能制造各种药剂。此外，伦敦只有他会制造各种磷，每英两售价3金镑。敬请各界爱好者注意。”

但是直到1737年为止，磷的制法还是属于炼金术士的秘密。炼金术士打算利用这个奇异的元素，结果怎么也利用不上。他们认为哲人石已经被发现，就想用发光的黄磷来把银子变成金子，可是这种企图没有成功。哲人石并没有显出什么奇妙的性质，倒是有时候拿哲人石做实验发生了爆炸，使这些研究的人害怕起来。所以磷在当时还仍旧是神秘的物质，没有找到什么用途。大约过了200年，化学家利比喜才在简陋的实验室里揭开了另外一个秘密——磷和磷酸对于植物生命的价值。这才明白，磷的化合物是田野里生命的基础。于是就在这个实验室里第一次想到应该把“冷火”的化合物撒在田地里来提高庄稼的收成。

但是我们知道，利比喜的话在当时是难以得到人们的相信。他曾经想用硝石做肥料，结果失败了，特用轮船老远从南美洲装

运来了硝石，竟因为找不到买主而不得不把硝石扔到海里去。用“冷火”的盐可以提高黑麦和小麦的收成，可以让一种宝贵的纤维素植物——亚麻——的茎发育得很好，然而这种想法在长时期里始终认为是办不到的幻想。所以科学家又连续顽强地研究了多少年，磷才变成国民经济上最重要的元素之一。

* * *

第二段故事是1939年的事。在苏联北部积雪的山坡上大规模地开采着浅绿色的矿石——磷灰石，这是一种贵重的矿产。这里开出的磷灰石很多，可以和地中海沿岸、非洲或佛罗里达开采的纤核磷灰石相比。把绿色的磷灰石送进大的选矿工厂，在那里把它碾碎，去掉有害的成分，研成纯白的粉末，像面粉一样细碎和柔软。然后把它装上火车，几十列火车从遥远的北极地带开到列宁格勒、莫斯科、敖德萨、维尼察、顿巴斯、莫洛托夫和古比雪夫的工厂去，在那里让它和硫酸起作用，变成另外一种白色粉末——能够溶解的磷酸盐，当肥料用。用特制的机器把千百万吨



磷灰石矿床的外观

这样的磷酸盐撒在田地里，把亚麻的收成提高1倍，使甜菜增加糖分，叫棉花结更多的棉桃，让青菜长得更多更好。

于是散布在田地里的小小的磷原子钻进谷物和青菜里，钻进好多种我们的食物里。有人算过，我们吃一块100克的面包，就吃了10^{22}个磷原子，这个数字真大,很难用平常的话表达出来。

方才给你们讲的是苏联磷的主要来源，是希宾山脉的磷灰石。但是不管科拉半岛的磷灰石储藏量是多么丰富，单靠它还不能满足农业的要求，因为还有一个运输的问题。整车贵重的选过的磷灰石运到西伯利亚、哈萨克斯坦和中亚细亚，可是那里总嫌不够——于是就得靠新勘探出来的磷矿来补北极磷灰石的不足。苏联欧洲部分已经有许多地方的纤核磷灰石正在大力开采，而现在发现西伯利亚和中亚细亚也有很重要的纤核磷灰石矿床。在苏联广大的领土上，各处都在勘探新的纤核磷灰石矿床，勘探出来就动手采掘。正是纤核磷灰石矿层使苏联得到好几千万吨的磷肥，它把富有生命的力量带给田地，让所有谷粒和植物的茎都充满促进生活机能的磷原子。



磷在生产上的各种应用



提炼磷的炉子

前面给你们描写了关于磷的历史的两幅图景，讲到磷的发现和磷在今天的用途。全世界每年制造的磷肥在1000万吨以上，其中含的200万吨磷就撒在田地里。

但是磷不只用做肥料。磷的重要性正在一年比一年增大。在今天利用这种"冷火"的至少有120个工业部门。

首先，磷是有关生命和思想的物质；骨头里含有磷，它决定骨髓细胞的生长和正常发育，而归根到底，生物体有了磷才能长得结实。脑里含的磷很多，表示磷在大脑工作上起着十分重要的作用。食物里缺乏磷，就会使整个机体衰弱下去。怪不得有许多种含磷的药，给身体衰弱的人和康复期的病人服用。磷不但人需要，动植物也大量需要。现在我们不但能用磷肥使陆地肥沃，还能使海肥沃。在开口狭窄的港湾里撒上磷的化合物，就会使细小的水藻和别的微生物很快繁殖生长，结果也就很快提高了鱼的繁殖率。曾经做过这样的实验，把磷的化合物撒在列宁格勒附近的池塘里，结果眼看着鱼长得比平常大一倍。近来磷在制造各种食品上，特别是制造汽水上，起的作用很大。高级的汽水可以用磷酸制造。磷酸盐，尤其是锰和铁的磷酸盐，可以用做坚固不变的涂料。我们知道，最好的不锈钢制品就是在表面涂上一层磷酸盐。飞机各部分的表层涂上这种磷酸盐，就不会生锈。人们老早就利用磷的"冷火"来兴起一门大的工业——火柴工业。我们青年的读者们大概不知道在发明现代的火柴以前大家用的是什么样的火柴。我还记得我小的时候用的火柴是红头的，不论擦在什么东西上都能着火。那种火柴碰上皮鞋底特别容易着火，但是磷的

性质很危险，这就迫着人们去发明另一种火柴，就是我们现在大家都用的那种。

人们看到能用磷制造火柴，于是想起磷不但可以用来发出“冷火”，还可以生成“冷雾”。因为磷一燃烧就变成五氧化二磷，五氧化二磷能飘在空气里很久，变成不容易下沉的烟雾。

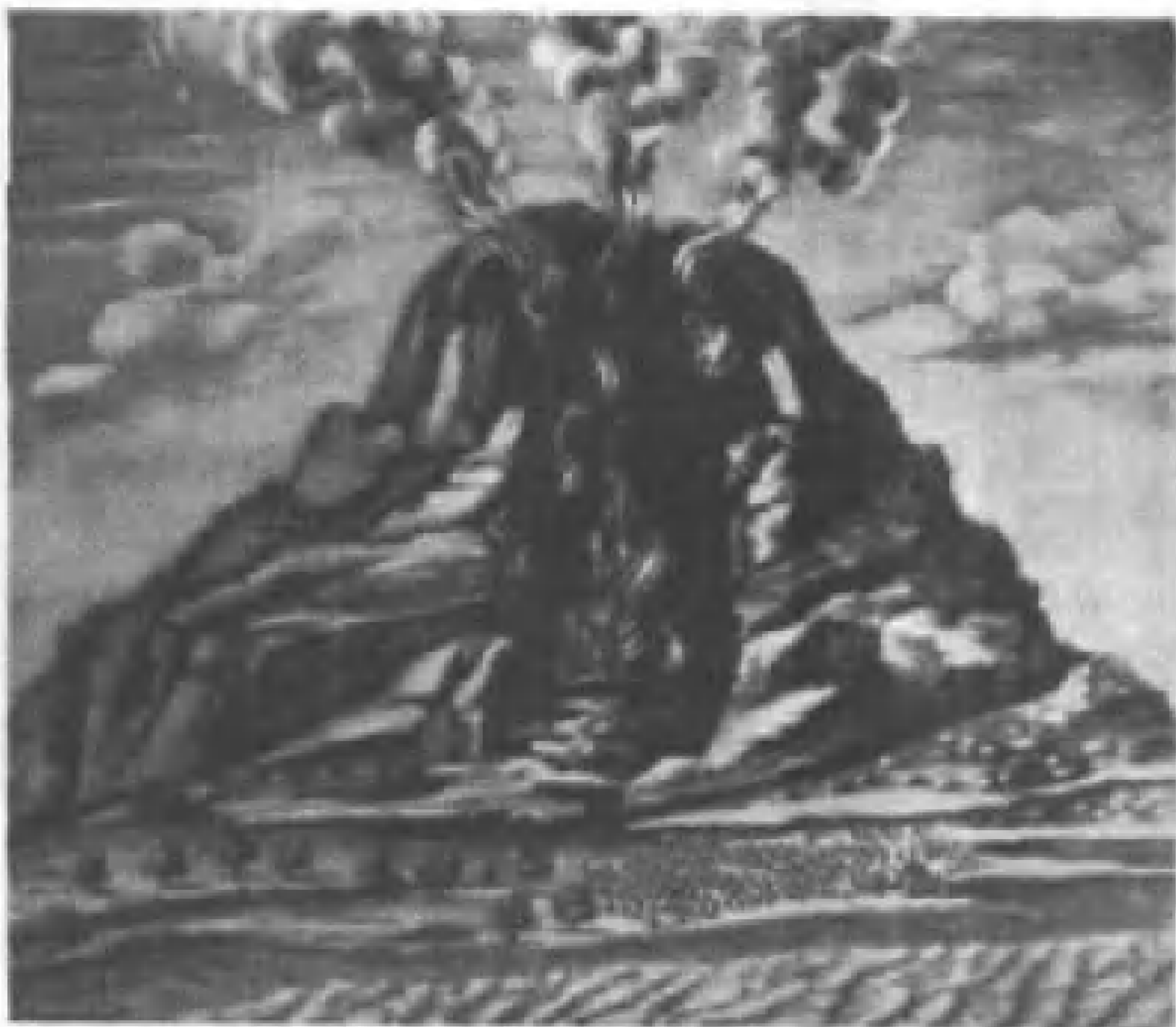
军事上就利用五氧化二磷的这点特性来制造烟幕。燃烧弹里含有大量的磷；在现代的战争当中，用含磷的炸弹来散布白色的烟雾，已经是常用的一种进攻和破坏的方法了。

磷先是在深成岩的熔化物里，后来变成细小针形的磷灰石，最后微生物像一个活的过滤器，从稀薄的海水溶液里把磷捉住，磷在自然界里所经过的这些化学变化相当复杂，这里都不细讲。

磷在地壳里的迁移历史非常有趣。磷的命运是和生物的生与死的复杂作用分不开的。磷聚集在有机体死亡的地方，聚集在动物成群死亡的地方，在洋流的衔接点上鱼类繁生的地方，那儿常常造成了海底的坟墓。磷在地球上有两种聚集的情形：或者从灼热的岩浆里分离出来而生成很深的磷灰石矿床，或者存在于动物死后的骨骼里。磷原子在地球史上的循环很复杂。化学家、地球化学家和技术家已经发现了它们循环过程当中的几个环节。磷的过去的命运消失在地底下深处，而它的未来的命运却寄托在全世界的工业上，在技术进步的复杂道路上。

硫——化学工业的原动力

硫是人类最先知道的化学元素之一。地中海沿岸好多地方都有硫，古代希腊人和罗马人不会不去注意到它。每次火山爆发都带出来大量的硫；当时人们把二氧化碳气和硫化氢气的臭



古代的木刻画，画的是维苏威火山

味当做地下的火山神活动的标志。早在公元前几世纪，人们就注意到西西里大硫矿里所产的纯净而透明的硫的晶体。特别引起兴趣的是这种石块会燃烧生成窒息性的气体。正是这点不平常的性质使当时的人认为硫是世界上基本元素的一种。

也正因为这一点，怪不得古代的自然研究者，尤其是炼金术士，特别重视硫的作用，他们一讲到火山活动的过程或者山脉和矿脉生成的经过，总要强调硫这种元素所起的作用。

在炼金术士看来，硫的性质同时也很神秘，他们眼看硫一燃烧就生成新的物质，所以他们联想到硫一定是哲人石的一个组成部分，他们正在拚命炼这种哲人石，想用人工方法制造金子，但是结果一无所获。

1763 年，罗蒙诺索夫发表了著名的论文“论地层”，他在这篇文章里叙述硫在自然界里所起的特别作用，讲得很好。我们选

几处内容丰富、文词优美的来读一读：



中世纪熔炼硫的情形

“一提起地下的火是那么多，念头马上就转到地下的火里含的是什么物质”……“还有什么东西比硫更容易发火呢?火里还有什么比它更有力的呢?”……“从地底下开出来的可燃性物质当中，哪一种比别种更丰富些呢?”

“因为不但火山喷出的气体里有硫，地底下滚烫沸腾的矿泉里和陆地底下的通气口里也聚集有大量的硫，而且没有一块矿石，几乎没有一块石块，彼此摩擦之后不产生硫的气味，不显露它们的成分里含硫的……大量的硫在地球中心燃烧成沉重的气体，在深坑里膨胀起来，顶着地球的上层，使它升高，向四下做出不同程度的运动，产生各式各样的地震，而地面抵抗力最小的地方就最先断裂开来，破坏了的地面的碎块有些比较轻的给抛到高空，再落下来掉在附近；别的碎块因为太大太笨重，飞不起来，就变成山。”

“我们看出地球内部的火真多，而维持地下的火的硫也多得很，这样就足够引起地震而使地面发生变化，这种变化是很大的，会带来灾祸但是也有好处，是可怕的但是也带来安慰。”

*地下深处确实含有大量的硫，硫冷却的时候析出好多种挥*发性的化合物，各种金属和硫、砷、氯、溴、碘的化合物。火山喷出物的气味各不相同，譬如意大利南部的喷气孔喷出的窒息性气体，或者像堪察加半岛上火山爆发的时候生成云雾状的二氧化硫气，我们都可以根据气味辨认出来；硫不但可以生成气体喷出来，它又能溶解在地下水里，又能在地下裂缝里构成矿脉。硫和砷、锑和别的同伴一齐住在挥发性的热溶液里，在那里生成矿物，人们从远古起就知道从这类矿物里开采锌和

铅、银和金。

硫在地球表面上生成的暗色的、不透明的、闪亮的多金属矿石，以及各种辉矿类和黄铁矿类矿石，要受到空气里的氧气和水的作用；硫的化合物受到这些作用，就生成新的化合物，硫被氧化变成二氧化硫。这种气体我们很熟悉，划火柴的时候就有它的气味。它和水生成亚硫酸和硫酸。

经过这一类的化学变化，黄铁矿类矿石的巨大的晶体氧化以后析出硫和硫化物，它们破坏了周围的矿层，和比较稳定的元素化合，最后生成石膏或者别的矿物。应当说明的是，黄铁矿类矿床和开采天然硫的地方生成的硫酸是有破坏性质的。

我想起乌拉尔南部麦德诺戈尔斯克矿坑的情形，那里黄铁矿类矿石氧化的时候析出的硫酸太多了，以致毫无办法预防它的腐蚀作用，所以矿工的工作服很快就烂成一个个大窟窿。

以前我们在卡拉-库姆沙漠工作的时候，不知道硫矿有这点性质；我们选好硫矿石的样品，整整齐齐地包在纸里，岂知到了列宁格勒，纸包都破烂了，纸包上贴的标签都成了碎片，连装样品的箱子也有些地方被腐蚀。造成这次事故的当然是天然的硫酸，不能不说它是特殊的液态矿物。



卡拉-库姆的硫磺丘陵

卡拉-库姆的硫矿石是硫和沙的混合物。化学工程师沃尔科夫(П. А. Волков)想出了独特的方法来把硫和沙分开。在一只高压锅里装好小块的矿石，加好水，密封起来，另外从一个蒸汽锅里向它通进 5 ～ 6 个大气压[1]的蒸汽。这样，高压锅里的温度就升到 130 ～ 140 摄氏度，硫就熔化而聚集在高压锅底部，而沙和粘土给蒸汽冲着往上升。过一会儿，打开高压锅的放硫口，让硫静静地流进特制的槽里。全部熔炼过程前后才 2 小时左右 这样，苏联工程师就很简单地解决了卡拉-库姆硫的提纯的问题。



石膏质的沙丘

硫能够维持它原来状态的时间很短：它很快就和各种金属化合，火山地区的硫和金属生成的化合物都聚集成明矾石，活



硫在生产上的应用

[1] 1 大气压约等于 1.013×10^5 帕(全书同) ——编辑注

火山四周的明矾石往往分散成白色的斑点或散布成条带。

有一些天文学家认为，造成月球上环形山周围白色光圈和白色光线的正是明矾石。

硫被氧化以后，有很大一部分和钙化合。生成的化合物很难在实验室里溶解，然而它在地底下却相当活泼。这种化合物我们叫做石膏，盐湖里和干涸的海底也有大量的石膏生成很厚的沉积层。

然而硫在地面上的历史并不到此为止。一部分硫酸重新变成气体；许多微生物把硫的化合物还原成硫；硫的化合物的溶液里分解出硫化氢和别种挥发性气体，含有石油的地下水涌出地面的时候，这些挥发性气体也大量地跟出来，充满在湖沼等低地的空气里，许多湖沼和三角港里还生成黑色的淤泥块，我们叫它做药泥，在克里木和高加索很普遍地使用它治病。

大部分的硫变成硫化氢，跑进空气里，恢复了它的流动状态。这样就完成了硫在地球的地质史上许多复杂循环当中的一个。

可是人们大大地改变了硫在地球上所走的路线；硫变成了工业上最有价值的东西。全世界开采纯净的硫，每年不过 100 万吨。而每年开采出来提取硫制硫酸的硫化铁里面含的硫倒有几千万吨。

硫变成了化学工业的基础。即使要把需要用硫的所有工业技术部门都列举出来也不容易。我只能举出最重要的几个工业技术部门，可是就从这些例子也可以看出，工业上没有硫是不行的。



火药爆发

硫的用途是制造纸、赛璐珞、染料、好多种药物、火柴，提炼和精制汽油、醚、油类也需要它，制造磷肥、明矾和别的矾类、钠

碱、玻璃、溴、碘也离不了它。没有它就不容易制造硝酸、盐酸和醋酸；所以从 19 世纪初年起硫在工业发达史上起了那么大的作用，那是完全可以理解的。造出炸药需要硫酸，黑色火药也有硫，所以在火器上也缺少不了硫。

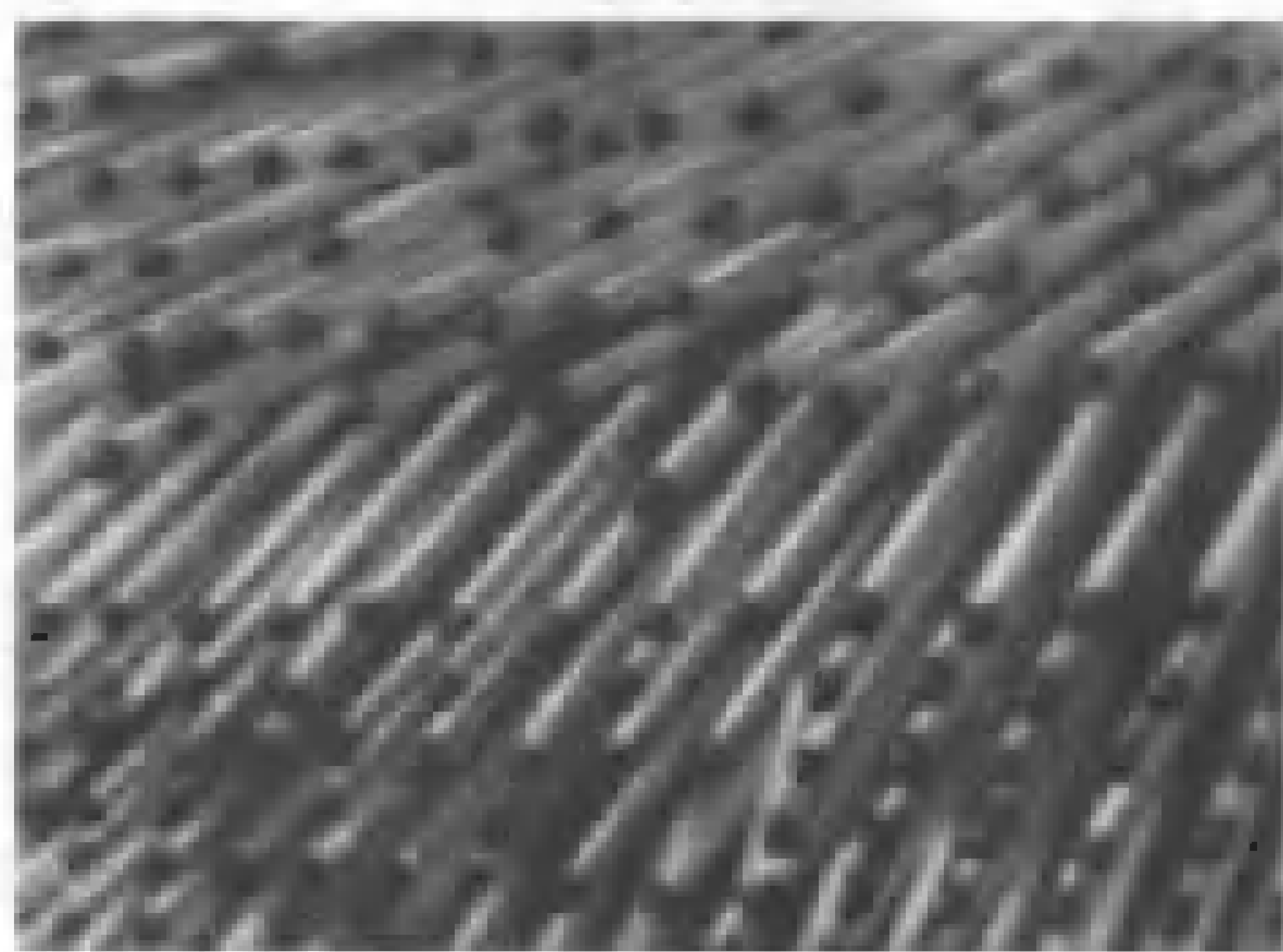
硫既然这么重要，为硫而斗争就成为 18 世纪全部历史里的一个主要线索。西西里岛在长时期里是硫的唯一供应地。这个岛是在意大利王国的统治之下的，英国舰队从 18 世纪初年起，好几次炮轰西西里岛沿岸，企图侵占这个富源。可是后来瑞典人发明从黄铁矿提取硫和制造硫酸的方法，于是西班牙丰富的黄铁矿又成了欧洲所有国家注意的目标，这时候英国舰队就又在西班牙沿海出现，想占领这个硫和硫酸的源泉。西西里岛的硫矿被抛在脑后了，大家的注意力都集中在西班牙了。

可是，美国的佛罗里达半岛又发现了世界上储藏量最丰富的硫的矿床。

为了疯狂地追求利润，美国在佛罗里达地方拚命地开采硫，开采的方法乍一听简直是完全不能相信的：把过热的蒸汽压进地下深处，因为硫的熔点低，只有 119 摄氏度，它就在地底下熔化，然后把熔化的硫压出到地面上来。

这样采硫的第一部机器装置成功了，熔化的硫涌到地面上，凝固成一座座大的山丘。

这个新方法的生产率很高，美国就用这个方法开采出了大量的硫。意大利和西班牙的硫矿又都降到次要的地位了。接着在北极圈上出产硫化物矿石的瑞典又产生了一种新的光辉的思想。瑞典有一个工



火柴工厂里待包装的火柴

厂在熔炼黄铁矿石的时候，同时提炼出硫来。

金属的硫化物就又成了硫的一种来源，制造硫酸也改用了新的方法。

我讲这一切，为的是让你们明白，一种物质在工业上的利用有的时候随着技术上创造性思想的实现而有了非常复杂的改变。科学史上出现了新的方法；这些方法根本改变了提炼硫的技术，打破了一系列的生产关系。难怪意大利有一家杂志说，新的方法“扼死了”西西里岛的居民，强迫他们过着半饥饿的生活——在贫瘠的农场上栽种橙子，在太阳晒焦的山地牧场上放羊。

这就是资本主义社会里技术进步的结果。

只有在社会主义社会里，人们替天然原料找寻新的用途的创造性思想才能使全人类获得天然富源的利益，才能替全世界谋求幸福。

钙——巩固的象征

有一次我旅行路过诺沃罗西斯克，这个城市附近的大水泥工厂有一批工程技术工作人员要求我在他们的俱乐部里做一次关于石灰岩和泥灰岩的报告，因为这两种物质是制造水泥的重要原料。

我只得回答他们，我对于这个题目一点都不清楚。固然我很知道，石灰和水泥的基础就是各式各样的石灰岩；我也很明白，好的石灰和水泥有多大的价值；我对他们讲，苏联北部花费怎样的劳动来制取这两种建筑上必需的产品。

石灰通常是从瓦尔戴高地定购来的，那里离现在这个苏联新兴都市 1500 公里远，而运送水泥所走的路线是从诺沃罗西斯



水泥工厂的外景

克经过黑海、爱琴海、地中海、大西洋、北冰洋的环状路线；所以我告诉工作人员说，我很了解石灰在生活上和建筑上突出的重要意义，但是我从来没有研究过石灰岩，所以我对于石灰岩丝毫都不知道

“那么请给我们谈一谈钙吧，”一位工程师说道，他特别强调金属钙是一切石灰岩的基础，“请讲一讲，怎样从地球化学上来看钙，钙的性质怎样，它的命运怎样，它在什么地方聚集，怎样聚集，为什么正是钙会造成大理石的美丽花纹，使石灰岩和泥灰岩显出适用于工程技术上的各种宝贵性质。”

于是我就这个题目给他们讲了一次，下面是我给他们讲的钙原子在宇宙里的经历：

你们在水泥工业部门工作，这门工业是制造胶结物质的，是极其重要的建筑工业部门，所以你们对于钙原子的历史特别感兴趣。

化学家和物理学家告诉我们，钙在门捷列夫的元素周期表里占有特别的地位，它的原子序数是20。这就是说，钙原子中心

有一个核，核里面是极小的粒子——质子和中子，核外面有20个游离的带负电荷的小粒子，就是我们所说的电子。

钙的原子量是40，它属于门捷列夫表的第二类，也就是在这个表从左起的第二直行里。钙在它的化合物里，需要两个负电荷来生成稳定的分子。拿化学家的话来说，钙的化合价是+2。

你们看，方才我说过的20、40这两个数目都是能被4除尽的。这类数目在地球化学上非常重要。在日常生活上我们也知道，假如我们要让随便一件东西站稳，我们就要用能被4除尽的数。例如，桌子有4条腿。普通能够站稳的物体，任何建筑物，总是对称的，它们的左一半和右一半正好相等。

和钙原子有关系的数是2、4、20、40，这也是表明钙原子的性质特别稳定，我们简直还不知道需要摄氏多少亿度的高温才能破坏这个由一个原子核和绕核迅速旋转的20个电子所构成的坚固的结构。随着天体物理学家逐渐明了整个宇宙的构造，钙原子在宇宙里起的重大的作用也越来越清楚。

瞧，这是日蚀时候的日冕。连肉眼都看得见太阳外层巨大的日珥，灼热的、飞快地奔跑着的金属小颗粒给抛掷到几十万千米高，这当中钙起着主要的作用。现在我们的天文学家已经会用完善的方法来判明行星际充满着什么东西。在各个分散的星云当中，整个宇宙的广大空间都贯穿着飞驰的轻元素原子；这当中又是钙和钠起着同样重要的作用。

宇宙间还有些小颗粒，它们服从引力的定律，经历了复杂的路线，向我们的地球飞过来。它们掉在地球上成了陨石，这里钙又起着重大的作用。

就拿我们的地球来说，在地壳生成的复杂过程当中，在我们的生活方面和工业技术的进展方面，也不容易想出还有什么别的比钙更重要的金属。

还在熔化的物质在地球面上沸腾的时候，重的蒸气逐渐分离而形成大气层的时候，最初的水滴刚刚凝聚而造成巨大的海洋的

时候，钙和它的朋友镁早就是地球上特别重要的两种金属——镁也像钙那样坚固，也是双号的元素(原子序数是 12)。

那时候的各种岩石，不管是流在地面上的，或者凝结在地下深处的，里面都是钙和镁起着特别的作用。大洋的底部，特别是太平洋的底部，到现在还铺着玄武岩层，钙原子在玄武岩里占的地位很重要，而我们知道，我们的大陆便是漂在这样的玄武岩层上，这层玄武岩仿佛凝成了特别的、薄薄的一层皮壳，盖在地下深处熔化物的上面。

据地球化学家计算，地壳的成分按所占质量百分数来说，钙占 3.4%，镁 占 2%。地球化学家认为，钙的分布的规律和钙原子本身的奇妙的性质是分不开的，和它所含的电子个数是双数、它完善的结构的出奇的稳定性是分不开的。

地壳刚一长好，钙原子立刻踏上复杂的旅行路程。

在那个远古时代，火山爆发的时候喷出大量的二氧化碳。那时候大气里充满了水蒸气和二氧化碳，变成沉重的云层，包围在地球的四周，破坏地球的表层，把当时地球上炽热的物质卷在原始狂怒的风暴里。这样就开始了钙原子旅行史上最有趣的阶段。


开采大理石

钙和二氧化碳生成稳定的化合物。碳酸钙在二氧化碳过多的地方溶解在水里，被水带走；等后来失去二氧化碳的时候，它又沉淀出来变成白色的结晶粉末。

厚厚的石灰岩地层便是这样生成的。凡是地面上的冲积土堆积成粘土的地方，就生成泥灰岩层。地下灼热的物质激烈地运动着，侵入了石灰岩层，热的蒸气把石灰岩烧烫到摄氏好几千度，把石灰岩变成

雪白的大理石山丘，傲然矗立的山顶和白雪打成一片。

可是也有某些碳的化合物复杂地结合起来，产生了最初的有机物。这类凝胶状的物质有些像黑海的水母，后来变得越来越复杂；它们又逐渐得到了新的性质——活细胞的性质。伟大的进化规律，为生存而斗争，为向前进化而斗争——这一切使这类物质的分子变得更加复杂，使它们的分子发生新的结合，而它们依据有机世界的规律，又出现了新的性质。于是世界上渐渐地有了生命……先是温暖的海洋里的单细胞生物，然后是比较复杂的多细胞生物，这样一步步地进化下去，地球上终于有了最完备的生物体——人。每种生物在它逐渐生长变复杂的过程里，始终在为使它本身长出稳定结实的体质而进行斗争。柔软脆弱的动物体往往抵抗不住敌人，到处会被敌人毁坏和消灭。动物在它们逐渐进化的历史过程中，越来越需要保护它们自己。它们的软体要用一层穿不透的皮壳包起来，像盔甲似的，或者身体的内部需要一个架子，就是我们所说的骨骼，好把柔软的身体支在坚硬的骨头上。



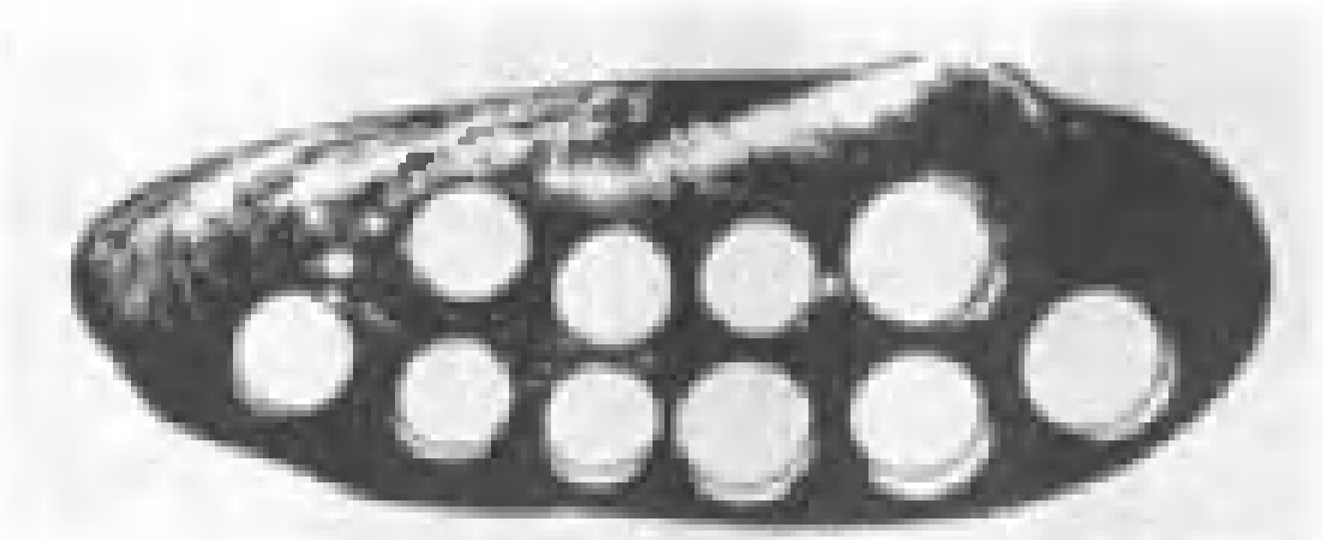
非洲的白蚁垤，它是由碳酸钙形成的

而生物发展的历史告诉我们，钙在供应坚硬结实的物质上起了非凡的作用。最初是磷酸钙参加到了贝壳里；在地质史上发现的初期的小贝壳，就是由磷灰石这种矿物质造成的。

然而这样来取得钙并不太靠得住：生命本身也需要磷，而地球上并不是到处都有足够的磷可以供给生物去制造坚硬的贝壳的；动植物发展的历史指出，如果用不大会溶解的别种化合物——蛋白石、硫酸锶和硫酸钡去制造它们的坚硬的部分，就会有利得多；而特别合适的是碳酸钙。

的确，磷也是很需要的，一方面，

各种软体动物和虾，还有一些单细胞生物，普遍地用碳酸钙造起美丽的外壳来；而另一方面，地面上动物的骨骼部分却开始用磷酸盐来制造。人或者一些大动物的骨头含的是磷酸钙，这种磷酸钙在本质上和我们开采的磷灰石相当近似。碳酸钙也罢，磷酸钙也罢，起着重要作用的还是钙。惟一的差别是：人的骨头含的是钙的磷酸盐，而贝壳主要是钙的碳酸盐。


淡水里软体动物的贝壳,可用来制造纽扣

哪位自然科学家要是到过海边，譬如说，到过地中海海岸，那么对于他来说，恐怕再也没有比海边更奇异的景象了。

我记得，当我还是青年地质学家的时候，我第一次在热那亚附近的涅尔维岩岸看见的情形是什么样。我一看真觉得十分惊奇：美丽的各种各样的贝壳，不同颜色的藻类，有美丽的石灰质外壳的寄居蟹，各种软体动物，成群的苔藓虫，以及各种石灰质的珊瑚。


从海底打捞起来的软体动物的贝壳。这是纯粹的 $CaCO_3$，用来制造水泥和纽扣

我的眼睛盯着透明的海水，完全沉浸在这个奇妙的世界里了，同样是碳酸钙，而形状却千变万化，透过蓝色的海水，闪亮着各种光彩。突然一只很大的章鱼打断了这幅景色对我的吸引力，章鱼悄悄地向我们站着的这块石头游过来，我便用棍子去逗弄它们。

钙聚集在海底的贝壳里和别种海洋动物的骨骼里，足有几十万种形式。这些动物死掉以后留下来的稀奇古怪的遗骸堆成碳酸



海洋里的珊瑚虫

钙的整座整座的坟墓，这就是新的岩层的开端，未来的山脉的开端。

在今天，我们赞美着装饰建筑物的各种颜色的大理石，欣赏着发电站里的灰色或白色大理石造的好看的配电盘，或者我们去到莫斯科地下铁道站，顺着谢马尔金斯克产的像大理石似的黄褐色石灰石台阶走下去，——在这些时候我们都不应该忘记，所有这些大块的石灰石就是由微小的活细胞聚集起来的，是通过复杂的化学反应，把分散在海水里的一个个钙原子捕捉在一起，再把它们改造成结实的晶体的骨架和纤维质的，这类含钙的



大理石的建筑——列宁博物馆的列宁格勒分馆。除了下面一层是用花岗石造的以外，其余的完全是用苏联产的大理石

矿物叫做方解石和文石。

但是我们知道，钙原子的旅行并没有到此止步。

水又把钙原子冲散，让它溶解，复杂的水溶液里的钙离子重新在地壳里旅行起来，有的时候就留在水里，形成含钙很多的所谓硬水，有的时候遇到硫化合成石膏，有的时候又结晶成珍奇的钟乳石和石笋，生成复杂而奇幻的石灰岩的山洞。


用白色的乌拉尔大理石雕刻的女孩像(科年科夫作)

再往下就到钙原子旅行史上的最后阶段，人捉住了钙。人不但使用各种纯净的大理石和石灰石，而且还把它们放在石灰窑里和水泥工厂的大炉子里煅烧，让钙和二氧化碳分开，这样就制得大量的石灰和水泥，没有这两样东西就谈不到


莫斯科地下铁道的“加卢卡”站，壁面是用白色的乌拉尔大理石砌的

我们这水泥工业。

在药物化学、有机化学和无机化学上极其复杂的各种作用当中，也处处有钙在起着巨大的作用，在化学家、技术家和冶金学家的实验室里有钙在决定着作用的过程。然而这些在今天已经不算什么。钙在人的周围很多，人还可以让这种稳定的原子去参加比较细致的化学反应；人在钙的身上费了好几万千瓦的电力；人不但让石灰石里的钙原子脱离开二氧化碳，还让钙和氧断绝关系，制得了纯粹的钙，它是有光泽的、闪亮的、柔软而有弹性的金属，在空气里会燃烧，结果表面覆上一层薄膜，成分和石灰一样。

人利用钙原子，就正是利用它特别喜欢和氧化合的性质，利用钙原子和氧原子间联系得特别稳定和紧密的性质。人把钙原子加在熔化的铁里，人不再用各式各样复杂的去氧剂，不再用一系列费事的方法来去除对铸铁和钢有害的气体，而是把钙原子放在马丁炉和鼓风炉里，强迫钙原子去担任这项工作。

于是钙原子又重新迁移起来，它的金属颗粒刚闪亮不久，很



莫斯科地下铁道的“白俄罗斯”站。柱子用的是白色的大理石，墙壁和镶嵌地板用的是苏联产的杂色大理石

快又变成复杂的含氧化合物，变成在地球表面上比较稳定的化合物。

这下子你们知道了吧，钙原子的历史真比我们想象的复杂得多；要再找一个元素，在大自然里走的道路比钙更加曲折复杂，在我们地球的诞生史上起的作用比钙还大，同时在工业上比钙更加重要的，实在不容易。

不要忘记：钙是宇宙间最活动的原子之一；钙在世界上生成各种晶体结构的可能性是无限的；人既然会利用这类活动的原子来制造新的而且可能是空前结实的建筑上和工业上用的材料，那么人一定还会得出更多的发现。

然而要有新的发现，还应该多多努力，应该好好研究这种原子的本质。应该做一个有研究的化学家和物理学家，并且精通地质学，才能做一个优秀的地球化学家，并且在地质学上开辟新的道路。应该掌握化学、物理学、地质学和地球化学的全部知识，才能做一个很好的技术家，才能懂得怎样去走上工业上的新的道路，广泛地利用地球上分布极广的元素，向着征服自然的光辉的胜利前进。

钾——植物生命的基础

钾是有代表性的碱性元素，在门捷列夫表的第一类里占着相当低的位置。它是典型的单数元素，因为表示它的特征的一些数字都是单数：原子序数，也就是构成它电子层的那些电子数，是19，它的原子量是39。它只能和卤素的一个原子生成稳定的化合物，例如和一个氯原子化合，这就是我们所说的，钾的化合价是+1。钾一方面是单数元素，一方面它的原子里带电的小粒子又很多，这就决定了它的性质是喜欢不断地旅行，決

定了它非常活泼。

钾既然这样活泼，怪不得它在地球上的全部历史正和它的朋友钠的命运一样，是跟极端活动性和非常复杂的变化分不开的。钾在坚硬的地壳里生成100多种矿物，另外有好几百种矿物也含有少量的钾。钾在地壳里的平均含量差不多是2.5%。这个数字不算小，这正表示钾、钠和钙都是我们周围地球里的主要元素。

复杂的地质史上关于钾这一部分历史非常有趣。人们已经把钾的历史研究清楚，我们现在可以把钾原子经历的全部路程叙说一遍，叙述它怎样完成了一次复杂的生命循环以后，再重新回到它旅程的第一步。

当地下深处熔化的岩浆凝结的时候，各种元素就依次分离出来，越是活动的，越是喜欢旅行的，会生成挥发性的气体或者流动的和容易熔化的颗粒的，就越难分离出来，钾就是属于最后分离的一类元素。地下深处最初生成的晶体里并没有钾；我们在绿色橄榄岩那种深成岩里几乎找不到钾，这种深成岩在地球内部构成整整的一个圈层。连作为洋底的玄武岩块里，钾的含量也不超过0.3%。

在熔化的岩浆的复杂的结晶过程当中，地球上比较活动的原子都集结在它的上层；这儿强烈带电的硅和铝的微小离子比较多；这儿碱性的钾和钠这一类单数原子也很多，还有不少的容易逸散的含水化合物。这些熔化的岩浆生成的岩石，就是我们所说的花岗岩。花岗岩在地球表面上占的面积很大，它就是漂在玄武岩上的大陆。

花岗岩凝结在地壳的深处，钾在花岗岩里的含量大约是2%，钾主要是含在所谓正长石的那种矿物里。我们熟悉的黑云母和白云母里也含有钾；在有些地方钾聚集的还要多，生成一种巨大晶体的白色矿物，叫做白榴石，在意大利含钾很多的熔岩里，白榴石特别多，人们开采这种白榴石来提炼钾和铝。

可见地球上钾原子的摇篮，是花岗岩和火成岩当中的酸性



塔吉克斯坦卡拉科林斯克盐田里沉积的盐

熔岩。

我们知道，花岗岩和酸性熔岩在地球表面上怎样被水、空气以及空气和水里的二氧化碳所破坏，植物的根怎样长入到它们里面去，用分泌出的酸腐蚀个别的矿物。

谁要是到过列宁格勒近郊，他总会看见过花岗岩的露头和在巨砾里的花岗岩是最容易受到破坏，花岗岩里含的矿物受到风化的作用，岩石失去光泽，在从前曾经有过大块花岗岩的地方只留下纯净的石英沙堆积成沙丘。同时长石也遭受破坏。地面上各种有力的作用因素把长石里的钠原子和钾原子带走，留下了层纹状矿物的独特的骨架，生成了复杂的岩石，叫做粘土。

从这时候起，我们的钾和钠这两个朋友就开始了新的旅程。但是它们俩交朋友也就到此为止，因为在花岗岩被破坏以后，钾和钠就各奔前程，分道扬镳。钠很容易被水冲走；不论谁，不论用什么方法，也不能把钠的离子留住在淤积的粘土和沉积物里。它被江河冲进大海，在海里变成氯化钠，就是我们所说的食盐，

食盐是我们所有化学工业部门的主要原料。

钾走的路却和钠不同。我们从海水里找到的钾很少。在岩石里含的钠原子和钾原子个数差不多一样，然而每 1000 个钾原子只有 2 个能到海里，998 个都被吸收在土壤、淤泥、海盆地、池沼和河里的沉积物里。正因为土壤吸收了钾，土壤才有出奇的效力。

俄国著名的土壤学家、科学院院士盖德罗茨是识破土壤的地球化学性质的第一个人。他发现土壤里有一些颗粒会截留各种金属，特别会截留钾，他指出，土壤的肥力和钾原子大有关系，因为钾原子在土壤里是那样小巧玲珑，所以植物的每个细胞都会吸收它，用它来增强自己的活力。可不是吗，植物吸收了这种玲珑活泼的钾原子以后，就能长出芽来。

研究的结果指出，钾及钠和钙,都很容易被植物的根所吸收。

没有钾，植物就不能生活 我们现在还不清楚，为什么植物非得有钾不可，在植物体里钾到底起什么样的作用，可是实验证明，没有钾，植物便要枯萎死去。

*不但植物非得有钾不可，钾在动物体里也是重要的成分。譬如，钾在人的肌肉里就比钠多。脑子、肝脏、心脏、肾脏里的钾尤其多。*应该指出，有机体在成长发育的过程当中特别需要钾。成人对于钾的需要量就少得多。



巴斯昆恰克湖的盐层

钾迁移的循环路线不止一条，有一条循环路线是从土壤开始的。它在土壤里被植物的根所吸收，储存在死掉的植物躯体里，有一部分钾跑进人和动物的机体里，又回到土壤里变成腐殖土，活细胞再从土壤里吸取它。

大部分的钾走的正是这条

路线，虽然海水里的钠原子个数是钾原子的40倍，但是也有少数的钾原子能走到海洋里，和其他盐类共同构成海水的盐分。

从海水开始了钾原子旅行的另一条循环路线。

当大片的海洋由于地壳运动的作用而干涸，从海里分出来浅海、湖泊、三角港、海湾等等的时候，就会形成像黑海沿岸萨克、耶夫帕托里亚一类的盐湖。夏天一热，湖水蒸发得很厉害，结果盐从水里沉淀出来，被海浪打到岸上，也有的时候湖底完全干涸了，上面铺满一层盐，看着像一块闪闪发亮的白布。这时候盐生成沉淀有一定的程序：先在湖底结晶出来的是碳酸钙，其次是石膏(硫酸钙)，然后是氯化钠，也就是食盐。最后留在湖里的是含盐特别丰富的天然盐水，天然盐水里含的各种盐类达到百分之好几十，尤其是钾盐和镁盐含得更多。

钾在天然盐水里比钠更加活泼；它表现了巨大原子的性质，继续旅行下去，一直到更炽热的太阳把湖水晒干，盐层的表面析出了白色和红色的钾盐——这样就形成了钾矿床。

有的时候地壳里聚集着大量的钾盐，这正是人们在工业上十分需要的原料。到了这一步以后，就已经不是土壤的神秘力量，不是植物在决定钾走的路线，不是南方的烈日把它聚集在盐湖的岸上，——在工业里已经是人类自己在指挥钾原子走上新的循环路线了。



克里木的萨克盐田的蒸发池，含钾和溴很多的天然盐水在这里逐渐蒸发

整整100年前，有一位伟大的化学家利比喜看到钾和磷在植物体里的功用，所以他常说："田地没有这两种元素就不可能肥沃。"于是他脑子里浮起了当时认为是幻想的一种念头，他认为应该对土壤施肥，应该预先算出植

物可以利用的钾、氮、磷的盐类的分量，用人工方法把这些盐类加在土壤里。

19 世纪 40～50 年代的农业界不相信利比喜的这种想法；说他这种思想是在“开玩笑”，再说利比喜建议当肥料用的硝石，那时候是用帆船从南美洲运来的，价钱非常贵，谁也不买。磷肥的来源——磷矿——当时也不知道，利比喜建议把骨头碾细当磷肥用，价钱也太贵。而且钾的用法也不知道，只偶尔有人收集点植物灰来撒在田地里。乌克兰农民老早就知道把玉蜀黍秆烧成灰，撒在田里，他们没有科学的指导，完全是凭经验和独到的智慧，体会到这种灰对于庄稼的重大关系。

从那时候起过了许多年，肥料的问题成了全世界各国最重要的问题之一；土壤能不能肥沃，在很大程度上要看人是不是能把植物从土壤里吸取来的各种物质充分归还给土壤，把人从田地里取走的壳物、藁草、果实等所含的物质充分归还给土壤。到了今天，钾就成了农业上最需要的元素之一了。



施过钾肥、磷肥、氮肥的田地上正在进行收获工作

这一点只要提一提某些国家的钾肥用量就可以看出。拿荷兰来说，1940 年每公顷[1]用了 42 吨的氯化钾。这个数字的确是大得很；在美国，每公顷总共才用 4 吨左右。

据苏联著名的农业化学家说，苏联全国田地的氯化钾用量，每年不能少于 100 万吨

因此人类早就面临着这样一个任务：寻找钾盐的巨大矿床，把钾盐开出来，用它制造肥料。

在过去长时期里面，德国垄断了全世界的钾盐工业。德国哈茨山东部山麓的斯塔斯福盛产钾盐，就是著名的斯塔斯福盐；几十万列火车从德国北部把钾盐运送到各地。

许多农业国眼睁睁看着这种情形，实在不能容忍，因为农业是这些国家的经济命脉。过了多少年，费了好大气力，北美洲才找到少量的钾矿；法国也有了一些成就，发现莱茵河流域有钾矿；意大利也一直在找寻钾，并且开始利用火成岩里的一些含钾的矿物，但是所有这些钾盐的产量，比起贫瘠的土壤所需要的钾盐量，简直是杯水车薪。


尼古拉·谢苗诺维奇·库尔纳科夫院士(1860 ~ 1941)

俄罗斯科学家也费了许多年功夫在本国竭力寻找钾盐矿床。个别科学家的猜测没有产生结果；后来有一批青年化学家在科学院院士库尔纳科夫(Н. С. Курнаков)指导下进行顽强的工作，才发现了世界上

[1] 1 公顷等于 10^4 平方米(全书同)。——编辑注

储藏量最丰富的钾盐矿床。那次发现是偶然的，然而科学工作上的偶然性还是和长期的准备工作分不开的，所谓“偶然发现”，差不多总是为某种思想而长期斗争的最后一步，是对顽强的、长期的寻求所给的奖赏。

俄国发现钾矿的经过正是这样。库尔纳科夫院士对本国的盐湖研究了好几十年，他的念头始终顽强地朝着一个方向：地底下什么地方能找到古代钾盐盐湖的遗迹。他在化学实验室里研究彼尔姆区古代盐田里盐的成分，发现有些盐含的钾比较多。

他到过一处古代的盐田，注意到一块小块的红褐色矿石，看着像是红色的钾盐——产在德国钾盐矿床的光卤石。当时在场的工作人员都不敢确定这小块矿石是从哪里来的，不敢担保它不是德国钾盐标本当中的一块。但是库尔纳科夫院士还是把它捡起来放在口袋里，带回列宁格勒去分析。分析的结果，大家都惊讶起来，原来这小块东西果然是氯化钾。


地质学家普列奥布拉仁斯基
(1874 ~ 1944)

这是第一步发现，但是这还差得多，——还应该证明这块钾矿石是从索里卡姆斯克地下深处采来的，证明索里卡姆斯克有很丰富的钾矿。一定要在那里钻探，一定要在20年代的困难条件下从地下深处取出盐来分析它的成分。

苏联地质委员会里有一位伟大的地质学家普列奥布拉仁斯基(П. И. Преображенский)便来着手进行这项工作。他指出一定要钻凿深井，不久就钻凿到了厚厚的钾盐层，结果在全部地球表面的钾的历史上开

创了一个新的纪元。

现在，离开那次历史性的发现已经不少年了，全世界钾盐储藏量的分布图和从前完全不一样了。如果我们用氧化钾的吨数来表示钾盐储藏量，那么大部分的储藏量都在苏联；德国总共才25亿吨；西班牙是35 000万吨；法国是28 500万吨；美国和别的国家还要少。而且苏联的钾盐矿床还远没有完全勘探出来呢!

完全可能，苏联不久还会发现新的钾矿，把三四亿年前钾原子在古代彼尔姆海里迁移的全貌都揭露出来。

现在我们对于苏联这一段远古的地质史是这样认识的：古代的彼尔姆海包括现在苏联欧洲部分的整个东部地区。这个海是北冰洋往南伸展过来的浅水部分。它有一些海湾就在阿尔汉格尔斯克附近弯向白湖，还有在诺夫哥罗得附近也有。这个海的东部依乌拉尔山脉为界，往西南伸出两条长臂到顿涅茨流域和哈尔科夫。它的东南部一直深入到现在苏联的南部，进到里海岸畔。有些科学家甚至认为当时的彼尔姆海在最初是和那个巨大的特提斯洋连在一起的，所谓特提斯洋是在那二叠纪时候把地球拦腰围住的一个大洋。等到特提斯洋逐渐变浅，沿岸就形成了一个个的湖泊，本来湿润的天气也就变成经常风吹日晒的沙漠天气了。

强烈的热风摧毁了年青的乌拉尔山脉，山脉整个塌陷下来，倒在原先的彼尔姆海沿岸。彼尔姆海便向南撤退。它北部的湖泊和三角港里沉积了石膏和食盐。而南部的海水里钾盐和镁盐的含量越来越多。在东南部又积聚了天然盐水，这就是现在人们圈起来晒盐的，例如在萨克湖的盐水。就这样逐渐出现了一个个浅水的海和湖，水里饱和着残留下来的钾盐和镁盐。

于是钾盐也开始沉积出来。从索里卡姆斯克开始直到乌拉尔山脉的东南部，就出现了一个个的钾盐矿，掩埋在土壤下面。那里如果往下钻探，到处都会探到食盐的大块晶体，而食盐晶块的上层就是钾盐。

就是这样因了一小块不起眼的红褐色石块，被科学家的机敏



索里卡姆斯克产的钾石盐，它的成分是成层的钾盐和岩盐

的眼睛看到了，拿到实验室分析的结果，竟解决了一个极其重大的问题——钾的问题。从此苏联不但可以在田地里充分施肥来提高作物的收获量，而且有可能来建立新的钾化学工业，来制造化学工业上特别需要的各式各样的钾的化合物。这些钾的化合物就是苛性钾、硝酸钾、过氯酸钾、铬酸钾，是工业上和国民经济上应用得越来越广的一些化合物。除了钾盐，同时也得出大量的副产物镁盐，电解镁盐能制得闪亮的轻金属镁，而一种叫做“琥珀金”的镁的合金还给修筑铁路和制造飞机的历史打开了新的一页。

从前的俄国农业化学家的幻想到今天实现了：现在苏联每年制造的氧化钾吨数，足够施用在苏联全国的田地上，因而提高了作物的收获量。

我们所知道的地球上的和控制在人手里的钾的历史便是这样。

但是这个元素还有一点小小的特点，也不应该忽略过去。有趣的是，钾有一种同位素有放射性，固然放射性是很微弱的，但是那种同位素总是不稳定的，它自己能放出几种射线，然后变成另一种元素的原子，新的原子再聚拢起来生成钙原子。

这个现象在长时期里没有得到证明，后来知道实际上钾-40本身在地球的生命上起着很大的作用，因为在不稳定的钾原子变成钙原子的过程里放出大量的热。据苏联放射学家计算，地球内部由于原子蜕变而放出的全部热量，至少有 20% 是钾盐放出的。可见钾原子的蜕变对于地球热量所起的作用是多么巨大啊!

怪不得生物学家和生理学家想用钾的这点性质来解释植物的

生活问题，据他们的想法，植物所以那样出奇地和莫名其妙地爱好钾，就是因为钾原子能够放射，因为钾在细胞的生活和成长上起着某种特别的作用。

科学家为了证实这点而做了无数次实验，但是到今天为止还没有得出确定的结果。很可能，蜕变的钾原子和它的射线在活细胞里起的作用是很大的，它会使细胞和植物本身在成长和发育过程当中产生出种种特征来。

钾这个单数的、捉摸不定的元素，在地球化学上所占的地位就是这些。这就是钾在地球上循环旅行的历史。

对于每一种化学元素，都可以这样讲出一套它在地球内部、在地球表面、在工业上的旅行历史；可是有不少元素，它们历史上有个别的环节暂时还没有研究清楚；也有几种元素的历史还只能写成零碎的断片；因此在未来的地球化学家面前摆着一项任务——把这些历史写完整，写得首尾一贯。钾的历史还是比较清楚的，这个重要的元素在全部地质年代里的生活，我们是已经看明白了的。

我们不但知道了钾的历史，而且掌握着有力的武器去勘探它的矿床，去替它寻找工业上的用途，唯一没有研究清楚的是它在生物体里的作用，这个秘密或许是钾的历史上最有趣也是最重要的一页！

铁和铁器时代

铁不但是我们周围自然界里最重要的元素，而且是文化和工业的基础，它是战时的武器，又是和平劳动的工具。翻开门捷列夫的元素周期表，再也找不出来一种元素，对于人类的过去、现在和未来的命运有像铁这么重要的。古罗马有一位矿物学家老普

林尼谈到过铁，谈得很好，老普林尼是在公元 79 年在维苏威火山爆发的时候死去的，100 多年前俄国矿物学家谢维尔金(B. M. Севергин)说老普林尼是被“火山喷出的灰尘窒息死的”。

现在我们来读一读谢维尔金美妙的译文，看看老普林尼怎样写出铁的历史里的鲜明的几页：“铁矿工人给人类带来了最优良也是最凶险的工具。有了这种工具，我们才能刨土栽树，耕耘果园，修理葡萄籐，让它每年能抽出新芽来；有了这种工具，我们才能盖房子，砸碎石块，我们生活上像这一类地方都要用到铁。可也就是用这种铁，我们来进行战争和掠夺，而且不但用在就近的短兵相接，还用在远处的进攻，有时候用枪打，有时候用手抛，有时候又用弓射。照我的看法，这是人类智慧的最恶毒的一种表现。因为这是让铁带着翅膀出去催人快死，所以这是人为的罪过，不能向自然界推诿责任。”

公元前三四千年前，人类就开始去掌握这种金属，从那时候起的人类全部历史，都是为铁而斗争的历史。可能是人最初捡到天上掉下来的石头——陨石，就用陨石加工做成制品，就像我们今天看到墨西哥的阿芝特克人、北美洲的印第安人、格林兰的爱斯基摩人和近东地方的居民所有的那种制品似的。怪不得古代阿拉伯人传说铁产在天上。埃及土人干脆把铁叫做“天石”；阿拉伯人重复埃及人的古代传说，说天上的金雨落在阿拉伯的沙漠上，金子在地面上变成银子，后来又变成黑色的铁——这是对于那些要想占有天上恩赐的部落的惩罚。



中世纪炼金术上使用的铁的符号

铁在长时期里得不到普遍的

应用，因为要从矿石里炼出铁来并不容易，而天上掉下来的陨石又很少。

只有在公元后 1000 年那段时期里，人才学会了从铁矿里炼出铁来；于是文化史上的铁器时代便接替了青铜器时代，一直延续到今天。

各民族像找金子似的找铁，他们寻求铁的斗争在复杂的历史生活上始终起着重大的作用；然而不论是中世纪的冶金学家，还是炼金术士，都不能真正地掌握铁，人真正掌握铁还只是从19世纪开始的；这以后铁才逐渐变成工业上最重要的一种金属。随着冶金工业的发达，鼓风炉代替了手工业式的小规模的熔铁炉，兴起了像马格尼托哥尔斯克那样看着叫人兴奋的巨大的冶金工厂，它的生产量有好几千吨。

铁矿成了每一个国家的主要富源。储藏量几十亿吨的洛林铁矿成了资本家争夺的对象，成了战争的原因。我们知道，在19世纪 70 年代，德法两国就曾经为了占有莱茵河流域储藏量几十亿吨的铁矿而进行过战争。



19 世纪一个铁工厂的全景



马格尼托哥尔斯克铁工厂的
一个鼓风炉

瑞典在北极圈里有著名的基鲁纳铁矿，矿石质地很好，每年的开采量有1000万吨，英国和德国在争夺这个铁矿上有过许多插曲。我们知道俄国的铁矿是逐渐发现和开采起来的，开始是在克列伏罗格和乌拉尔，以后又发现了库尔斯克地磁异常区的极其丰富的铁矿。

苏联有许许多多铁矿，这些铁矿奠定了苏联工业的基础，炼出铁来制造铁轨、桥梁、机车、农业机器和别种和平劳动的工具。

目前苏联铸铁和钢的年产量已经增加到几千万吨。

在战争的年代里，把铁做成炮弹和炸弹，一次战役发射出去



乌拉尔(斯维尔德洛夫斯克省)尼日尼·塔吉尔附近
维索哥尔斯克铁矿的矿石开采场

的铁有时候等于整个铁矿。例如，第一次世界大战当中的凡尔登战役(1916 年)，结果把整个凡尔登堡垒地带变成了一个新的“钢”矿。

这也并不奇怪，因为在那次战役里，有几天每小时射出的重炮弹有一二十万发，相当于半吨钢铁。

为了钢铁而进行的斗争，逐渐促进现代的冶金工业走上了新的发展道路。

铁和普通的钢常常被新的优质钢代替了，在钢里面羼进几千分之一的稀有金属，像铬、镍、钒、钨、铌制得的合金比普通的钢坚韧。

为了改善铁的性质，为了改变铁所起的化学反应，人们在巨大的鼓风炉里和铸铁车间里还解决了为多出铁的一个重大问题。要知道，铁会从人手里溜走；它不是金子，金子可以藏在保险箱里和银行里保存起来，它的损失微乎其微。可是铁在地球表面上，在我们周围的环境里，却不像金子那样老实；我们都知道，



现代的冶金工厂把炼好的钢水倒出来

铁的表面是多么容易蒙上一层锈。只要拿一块潮湿的铁放在空气里，它很快就长满锈斑；假如铁皮的房顶不涂油漆，那么一年功夫房顶就会烂成一个个的大窟窿。我们从地底下找出来古代铁制的武器，像枪、箭、盔甲，都变成了红褐色的氢氧化物；这些铁器所以变质，也是因为受自然界化学定律的统一支配：铁受到空气里的氧气作用，就会氧化。于是摆在人们面前有一个非常重大的任务——怎样保护住铁，不让它受氧气的作用。

像我刚才讲过的，在铁里面添加某些物质可以改良铁的性质，人还想出办法来让铁蒙上一层锌或锡，把铁做成白铁或马口铁；把机器上的要紧部分镀上铬和镍，或者涂上各种涂料，用磷酸盐来处理铁。人想了各种各样的方法来防止铁受氧化作用，防止铁受我们周围的湿气和氧气的侵蚀。应该说明，防止铁生锈并不是很容易做到的；人现在还在想新的方法，研究怎样来利用锌和镉，寻找有没有锡的代用品。自然界里的化学反应是自发的，所以人从地球内部开采出来的铁越多，钢铁工业越发达，那就越要注意保护铁不让它生锈。

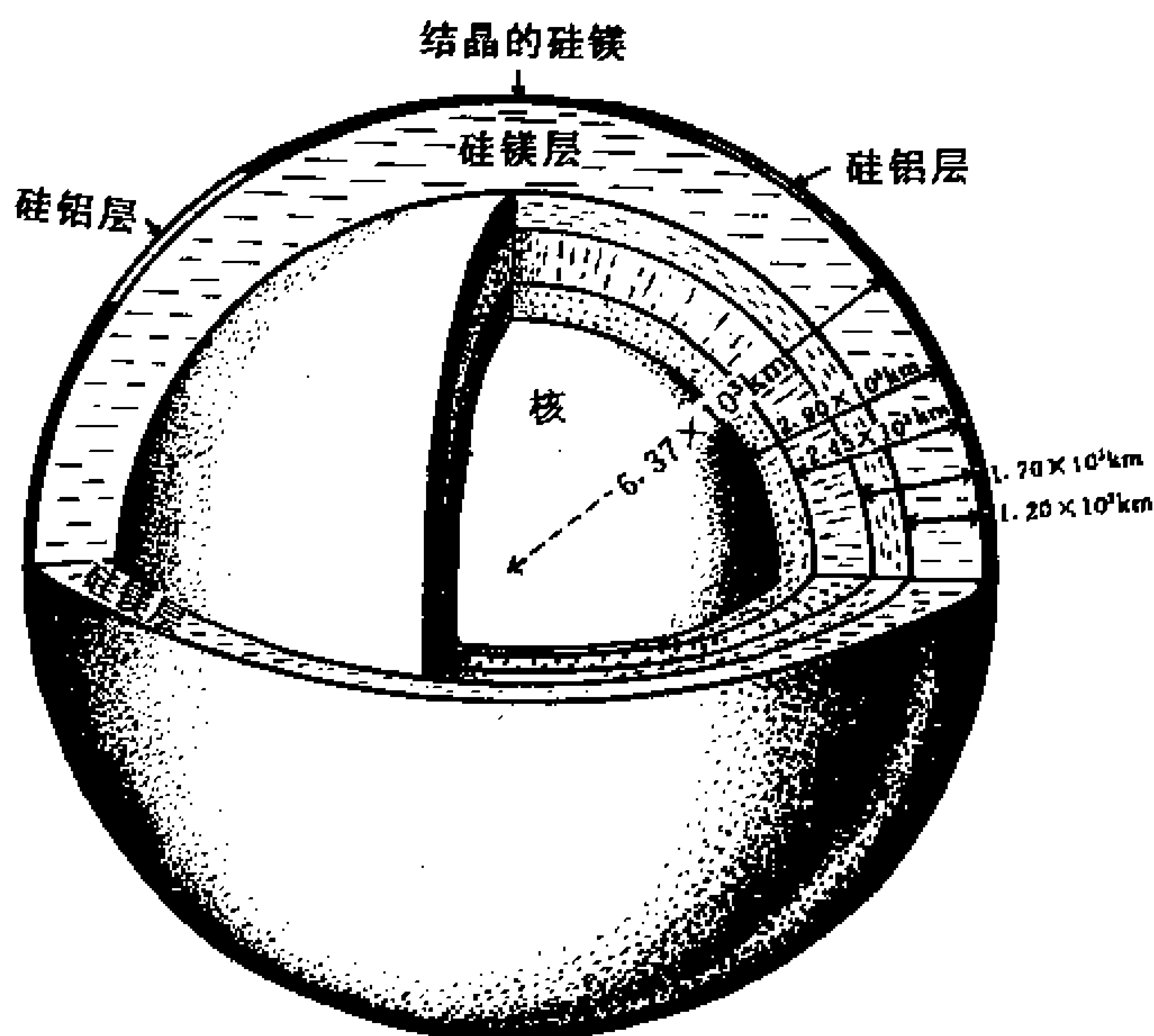
保护铁——这句话听起来多么奇怪，我们周围的铁不是很多吗?在不久以前举行的国际地质会议上，地质学家计算了世界上铁矿的储藏量，一致指出将来铁会发生恐慌；他们预言，再过50～70年，全世界铁矿就要枯竭，那时候人只有用别种金属来代替铁。他们还说，在建筑、工业和生活上可以用混凝土、粘土和沙来代替铁。时间已经过去不少，按说铁矿枯竭的日子已经逼近了，可是地质学家却不断发现新的铁矿。在苏联，铁矿的储藏量可以完全满足工业上的需要，而且新的铁矿不断地被发现，现在还看不出这种发现什么时候会停止。

铁是宇宙里最重要的元素之一。我们在一切天体上看到铁的光谱线，它在炽热星体的大气里发着光，我们也看见铁原子在太阳表面上飞驰着，铁原子每年还朝着我们的地球掉下来，这就是细微的宇宙尘以及铁陨石。在美国的亚利桑那州，在南非洲，在

苏联的中通古斯卡河流域，都掉下过天然的大铁块，含有宇宙里最重要的金属。地球物理学家证实，整个地球中心都是羼杂着镍的铁，而我们的地壳就是铁外面蒙上的一层玻璃似的矿渣，正像鼓风炉炼铸铁的时候流出的矿渣一样。

但是工业上既取不到宇宙里天然的大铁块，也不能从地下深处开采出铁来——我们的生活和工作只限于薄薄的一层地面，我们的钢铁工业对于铁矿储藏量的估计也只能到地下几百米为止，因为现代的采矿业还只能开采到这样的深度。

地球化学家也给我们揭示了铁的历史。他们说，地壳的本身就含有 4.5% 的铁；我们周围的一切金属，只有铝才比铁多。我们知道，铁含在最初凝结的岩浆里，这种岩浆凝结以后就是橄榄岩和玄武岩，它们藏在地下很深的地方，是最重和最初凝成的岩石(硅镁层)。



地壳构造简图。硅铝层——含有大量硅和铝的岩层(花岗岩型)
硅镁层——含有大量硅镁铁的岩层(玄武岩型)
地球中心是矿层和铁质的核

我们知道花岗岩(硅铝层)里含的铁比较少，花岗岩呈白色、粉红色、绿色，这正表示铁在花岗岩里的含量不多，但是地球表面上由于复杂的化学反应，还是聚集了不少的铁矿石。一部分铁矿石在亚热带生成，那里热带的雨季和晴朗炎热的夏天互相交替着。那里一切能在水里溶解的物质都从岩石里被水冲走，而大量聚集起铁和铝的矿层。

我们知道，北部地区，像苏联的卡累里亚，每年春天涨大水，水里含着有机物质，把各种岩石里含的大量的铁冲到湖沼里；湖沼里有一种特别的铁菌，铁菌作用的结果，铁就成豌豆粒那样大小或者更大的块，沉积下来……所以在湖沼里，在海水深处，在长期的地质年代中就形成了铁矿；毫无疑问，动植物的生活对于铁矿的生成也是时常发生影响的。

刻赤大铁矿便是这样生成的；克列伏罗格和库尔斯克地磁异常区的大铁矿也很可能是这样生成的。

克列伏罗格和库尔斯克的铁矿老早就由古代的海水沉积起来，这时候地下深处的热气还来得及改变它的结构。结果我们在那两处见到的铁矿，不是像刻赤那里的褐铁矿，而是变黑了的矿石——镜铁矿和磁铁矿。



乌拉尔南部巴卡尔所产的褐铁矿的晶洞，是碳酸铁(菱铁矿)分解而生成的。现收藏在斯维尔德洛夫斯克矿物学院博物馆里

铁的旅行不限于陆地的表面。固然，海水里含铁很少；说海洋里几乎完全没有铁，也不算错。但在特殊的、例外的情况下，连海洋里和浅水的海湾里也有铁的沉积物，也有整片的铁矿层，这类铁矿在古代的海洋沉积物里常有发现。苏联著名的乌克兰罗普尔、刻赤和阿雅特各地的

铁矿就都是这样形成的。而在陆地的表面上，——在河川湖沼里，到处都有铁在旅行；因此植物就可能经常找到这种重要的元素，植物如果没有这种元素就会活不下去。



1497 年的木刻画。磁铁矿的悬崖把船上的铁钉子吸了去，船就沉到水里去了

假如一盆花得不到铁，那你就会看到，花就很快褪色，失去香味，叶子也发黄和干枯起来。活细胞仗着生气勃勃的叶绿素才能发挥全部力量，它吸收二氧化碳里的碳而把氧气还给空气，而没有铁就不能有这样重要的叶绿素，因为铁是生成叶绿素的必要条件。

铁就是这样在地球上，在植物里，在生物体里完成它的循环，而在人的血液里的红血球是这种金属的旅行的一个最后阶段，如果没有铁，那就没有生命，更别提和平劳动了。

锶——制造红色烟火的金属

谁都看见过美丽的多色烟火或者鲜艳的信号火箭吧：好看的红火花在空中慢慢熄灭，随后变成那么漂亮的绿色烟火！

苏联每逢盛大的节日，一到晚上就有几千条美丽的花火在空中交织燃烧，仿佛有多少个太阳在运行着，火箭呼啸着飞向空中，把黑暗的夜空装点成红、绿、黄、白各种颜色。同样是红色火箭，它还有别的用处：轮船遇险的时候，把它当做求救的信号；飞机在夜里飞行，也把它扔下来当做信号；在夜间准备攻击或轰炸的时候，也拿它做军用信号。



列宁格勒的烟火

很少人知道怎样制造这种美丽的烟火，这种烟火叫做“孟加拉”烟火，这个名称是从印度来的：佛教上举行仪式的时候，和尚在阴暗的寺院里突然放出神秘的惨绿色或者血红色烟火，为的是吓唬一下到寺院里来拜佛的善男信女。

不见得大家都知道，这种烟火是用锶和钡两种金属的盐类制造的，锶和钡都属于碱土金属，以前在长时期里不会把锶和钡区分开，后来才看出来这两种金属的盐放在火上烧，一种发出浅黄绿色的光，一种放出鲜红色的光。随后很快又研究出来怎样制造这两种金属的挥发性盐类，把这些盐和氯酸钾、木炭、硫磺混合，把这混合物压成球状、柱状和锥状，就可以从枪口和烟火筒里发射出去。

在锶和钡的长期而复杂的旅行史上，这已经是最后几页了。假如我把锶和钡在地壳里的长途旅行史详细地讲给你们听——从熔化的花岗岩和碱性的岩浆讲起，一直讲到这两种金属在制糖工业、国防工业、冶金工业和烟火工业上的用途为止，——也许你们会感觉枯燥无味。

应该提一下，我在莫斯科大学念书的时候，在一份报纸上读过一位叫嘉桑的革命科学家写的关于含锶的矿物的精彩故事。他是天才的矿物学家，他讲他自己怎样和朋友们在伏尔加河沿岸采集一种好看的蓝色结晶矿石——天青石。他叙述这种矿石怎样在二叠纪的石灰岩里由分散的原子聚成蓝色的晶体，叙述了这种矿石的性质和用途；这段故事讲得那样生动，所以给我的印象深极了，几十年来我始终没有忘记天青石那种蓝色的矿石；那种矿石所以叫天青石，就因为它是天蓝色的。

多少年来我总在梦想要找到这样的石块，果然 1938 年我幸运地在无意中找到了它，又使我回想一下那段动人的故事。

那次我在高加索北部的基斯洛沃德斯克休养。一场大病刚好，我连上山散步都走不动，可是我很想到悬崖上去看看，想到采石场去。

我们疗养院附近的休养所新盖了漂亮的房子。新房子是用粉红色的火山凝灰岩建的，这种凝灰岩是从阿尔明尼亚的阿尔齐克



苏联煤业部在基斯洛沃德斯克的疗养院，是用当地的白云石造的

运来的，所以就叫做阿尔齐克凝灰岩。围墙和大门用的是浅黄色的白云石，工人用小锤子仔仔细细地把白云石敲平，并且凿出精美的饰纹。

我喜欢常到工地去散步，在那里看半天，看工人怎样巧妙地修凿柔软的白云石，敲去个别比较坚实的部分。一位工人对我说："这种石头里常有硬疙瘩，我们管它叫'石头病'，因为它妨碍我们加工；看，我们就这样把这些硬疙瘩敲下来，把它们往那堆一扔。"

我走近那堆瘤子——结核，忽然看见一个碎结核里有一块蓝色晶体：啊，这可的的确确是天青石！那么漂亮透明的蓝针，像斯里兰卡产的发亮的蓝宝石，又像在太阳光下闪亮变色的矢车菊。

我拿起工人的锤子，敲碎了那些结核，我简直高兴得说不出来。我的面前满是珍奇的天青石晶体。它像一整簇蓝色的鬃毛似的填充在结核内部的空隙里。在天青石晶体当中还有白色透明的方解石晶体，而结核本身是石英和灰色的玉髓，像是一个结实的框子把天青石镶嵌在里面。



北高加索基斯洛沃德斯克用白云石造的阶梯

我向工人仔细打听，这些盖房子的白云石是从什么地方开采出来的。他们指给我到采石场的去路。第二天一清早，我们就坐着高加索式的马车，顺着土路到开采白云石的地方去了。我们顺着汹涌的阿利空诺夫卡河边走去，绕过“欺诈和爱恋的堡垒”这所漂亮的房子。河谷狭窄起来，变成窄小的峡谷；陡峭的山坡像墙檐似的悬立着，那是石灰岩和白云岩；我们不久就从老远看见采石场，堆着一大堆碎石块和碎石片。

起初我们运气不好。我们不惜动手去硬把一些大的结核打碎，一看原来是方解石的晶体和水晶，要不然就是白色和灰色的蛋白石块和半透明的玉髓，但是最后我们终于达到了我们的目的。我们把一块块绛蓝的天青石捡起来，整整齐齐地放在一旁，再规规矩矩地包在纸里，然后我们又顺着险峻的坡道滑落下去，再去采集这种珍贵的样品。我们骄傲地把这些天青石样品带到疗养院里，打开纸包，把它们洗干净，但是我们还嫌不够。没过几天，我们又骑着小马出发去寻找蓝色的天青石。

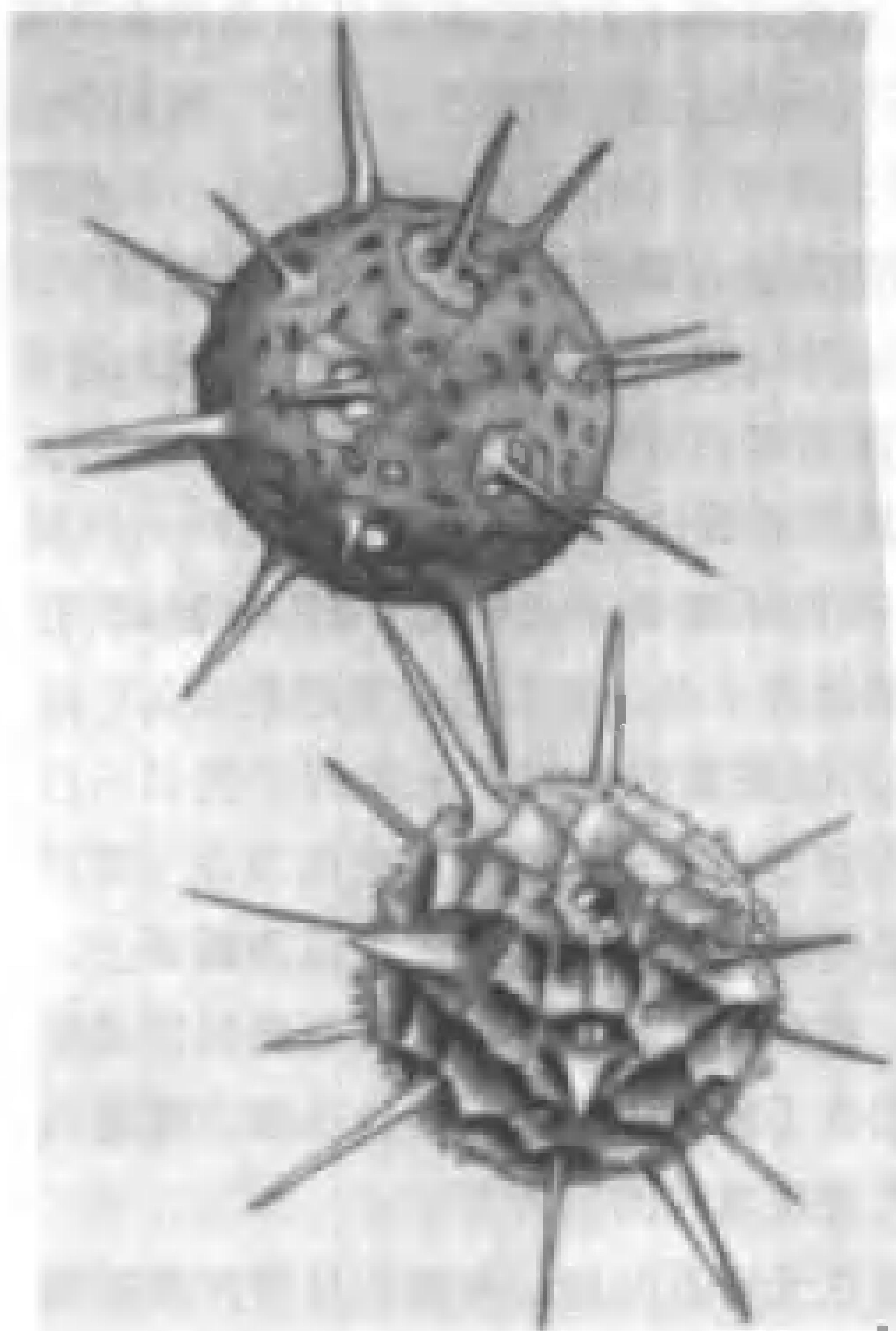
我们屋里堆满了嵌着蓝色天青石的白云石块；尽管疗养院院长不满意地看着我们，我们还是不断地往里搬运新的石块。我们这一举动，引起了邻居和疗养院里别的休养人员的注意。大家都喜欢这种蓝石头，有几个人甚至跟我们到采石场去，他们羡慕我们，他们也运来了很好的样品。

谁都不明白为什么我们采集这种石头。

有一次在沉闷的秋天晚上，和我一起休养的人来找我，请我给他们讲一讲，这种蓝石头是什么东西，为什么它长在基斯洛沃德斯克产的黄色的白云石里，要它做什么用。我们大家聚集在一间舒适的屋子里，我在听众面前摆着天青石样品，想到这些听众里有许多人既不懂化学又不懂矿物学，略微感到不安，我就在这种情况下讲起来：

几千万年以前，早侏罗纪的海浪冲到那时候已经隆起的高加索大山脉。海水忽而后退，忽而又冲洗山麓，冲毁了花岗岩质的

断崖，把红色的细沙沉积在沿岸一带——就是现在疗养院附近拿来铺路的那种细沙。



最简单的动物——棘针放射虫，它的棘针是硫酸锶

从古代高加索山顶上流下的河水汹涌泛滥，在泛滥地区里和小的海湾里形成了许多大的盐湖；后来海水向北退却，原先这里的沿岸地带，以及湖底、三角港底和浅海底都沉积了粘土和沙，聚集了石膏矿层，有的地方也聚集了岩盐。

比较深的地方沉积了厚层的黄色白云石，这种白云石对于基斯洛沃德斯克人是非常熟悉的，到“红石”山上去的著名的石头台阶和苏联煤业部漂亮的疗养院房子就是用这种石头造的。这种白云石现在形成很厚的岩层，它的黄、灰、白3种颜色很匀净。

可是造成这些沉积物的那个海的命运却是多么复杂啊!在它的沿岸曾经密集过许许多多生物。假如我们生在那个时候，就会在它沿岸欣赏到一幅五光十色的生物图画，正和今天我们在地中海沿岸的悬崖上和在科拉半岛温暖的峡湾里看到的叫人惊讶的那幅景色一样。

多种多样的蓝绿色和紫红色的水藻，带着美丽外壳的寄居蟹，种类和颜色极其复杂的蜗牛和贝壳——这一切好像一条五光十色的毯子，覆盖在悬崖上面。在水里，闪现着海胆的红色的棘

针，五星形的海盘车的弯曲的腕，以及各种各样的水母。

在沿岸地带，海底的石头上聚居着无数的小放射虫；有几种放射虫透明得和玻璃一样，它们是纯净的蛋白石，有些却是小小的白色球体，大小不超过 1 毫米，带着一个柄，柄有它本身 3 倍那么长。它们停在石头上，聚在美丽的苔藓虫上，有时候还附在海胆的棘针上，随着海胆在海底里跑来跑去。

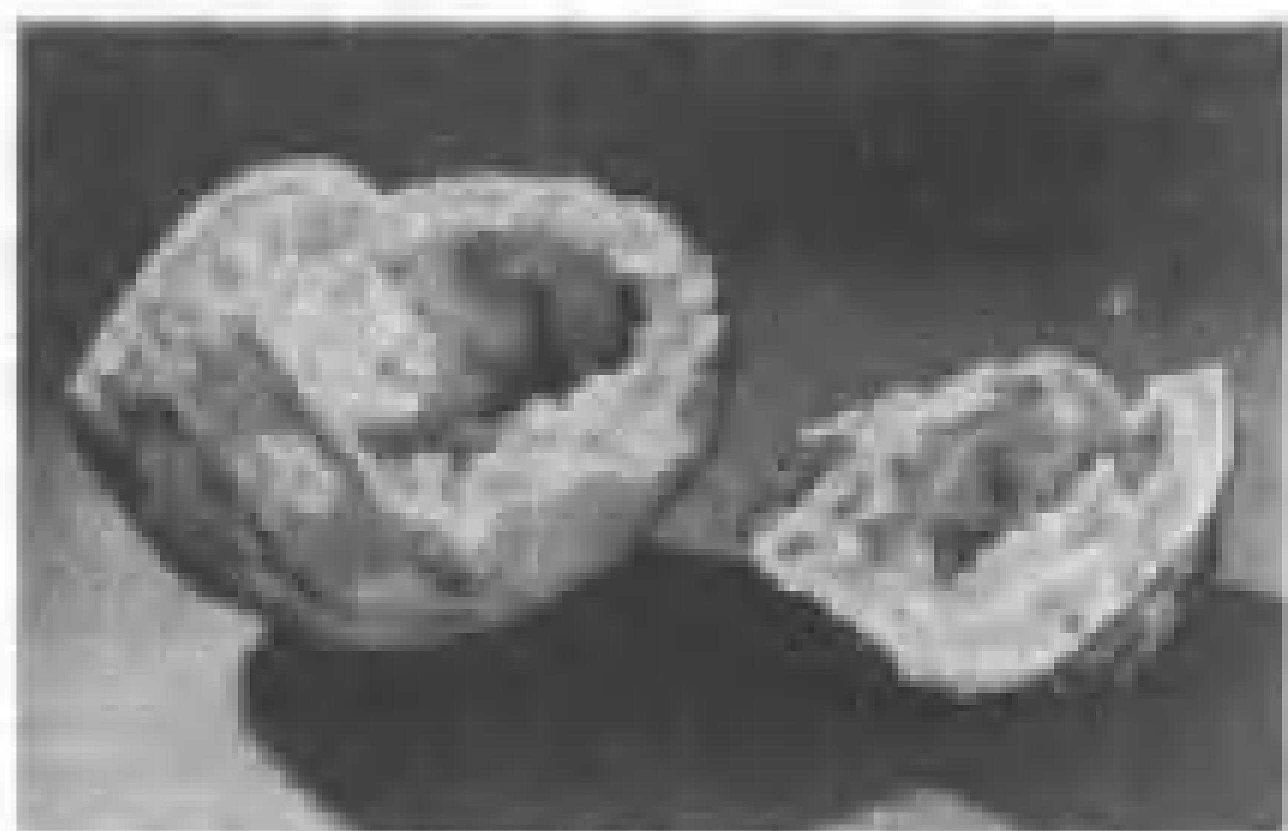
这就是有名的棘针放射虫，它的骨骼是 18 ～ 32 枚的针状骨片。以前好久谁也不知道这种棘针是什么东西造成的，后来才无意中发现，原来这种棘针既不是硅石，也不是蛋白石，而是硫酸锶。那么多的放射虫在复杂的生活过程当中把硫酸锶聚集起来，它们从海水里吸收了硫酸锶，逐渐造成结晶的棘针。

放射虫死了以后，就沉到海底。这样就开始聚集起一种稀有的金属：它从大块的花岗岩里给冲洗出来，从白色的长石里给冲洗出来，大家知道高加索产的花岗岩是含有那种长石的，这种金属给冲洗出来以后就落在高加索海沿岸的海水里，再经过放射虫的作用沉积在海底。

假如在那个遥远的地质年代里没有新的事件来破坏古代侏罗纪的海里沉积物的安静，恐怕我们一辈子也想不到上侏罗纪的海里会有那种放射虫存在，化学家也永远想不到要到基斯洛沃德斯克采石场的纯净的石灰岩和白云岩里去找锶。

这新的事件就是，高加索的火山活动又重新开始了。熔化的物质一再喷发出来，开始形成了山脉，地面上破裂的地方冒出蒸汽，喷出矿泉，高加索的矿水城地区隆起了白垩纪和第三纪的岩层，产生了著名的岩盘，形成了别什套山、铁山、马舒克山等。

地下深处的热气浸透了石灰岩、石膏和别种盐类的沉积物，地下的矿水形成整片的地下海和地下河，有的已经冷了下来，有的还被地下的热气烤热着；这些矿水穿过古代沉积的白云岩和石灰岩的裂缝，让岩石变成水溶液，再让它们结晶出来变成



天青石晶洞，已经打碎成两块

好看而坚硬的白云岩，人们就用这种白云石来造房子。

经过复杂的化学变化，分散的细小锶原子，棘针放射虫的遗骸，溶解到水里，然后在侏罗纪的白云岩空隙里重新沉淀出来，长成了美丽的蓝色天青石晶体。

就是这样在成千上万年里逐渐形成了我们的天青石晶洞，如果现在有地面的冷水流过那里，它的晶体就会褪色变得不透明，它的闪亮的晶面会变得模糊不清，于是锶原子又开始在地面的旅行，去寻找新的、更稳定的化合物。

我现在给你们描述的是基斯洛沃德斯克天青石的历史，其实在苏联许多地区都有这种情形。凡是地壳史上有大海消失变成浅海和盐湖的地方，有球形的棘针放射虫死在那里，它们躯体上的棘针在千百万年里聚集起来，就成了硫酸锶的晶体。

有整整一圈的天青石围绕着苏联中亚细亚的山脉，雅库特里的天青石晶体是在古代志留纪的海里生成的，生成的经过和上面讲过的情形一样。天青石的最大矿床是在二叠纪的海里，那时候伏尔加河沿岸和北德维纳河流域的石灰岩里都沉积了大量的天青石。

我不再给你们讲地壳里的天青石晶体以后经历的变化。我们知道，有许多天青石重新在水里溶解，锶原子落进土壤，被水冲走，一直溶解到无边无际的海洋里去，然后又在盐湖和沿海三角港里聚集起来，再让放射虫吸收，长出棘针，再过几百万年，又生成新的天青石晶体。

在这种经常的化学变化的过程当中，在复杂的自然现象的链条当中，矿物学家和地球化学家还只抓住一些零星的断片和个别的环节。科学家一定要具备有经验的眼光、精密的分析能力和深

刻的科学思想，才能看透宇宙间每一种原子的复杂的旅行路线。他要把零星的断片写成完整的篇章，把个别的篇章汇成地球化学的大书，让这样的大书源源本本地告诉我们，原子在自然界里怎样旅行，它们在旅途上和谁搭伴，它们在什么地方变成稳定的晶体，以后就安定下来或者是仍然不得安定，它们分散的原子在什么地方不停地变换着旅伴，有时候重新跑到溶液里，有时候又分散在无边无际的大自然里。

做一个地球化学家，就应该懂得原子的这一切复杂的途径。

他随便拿一个小小的晶体来，就应该会从头到尾交代清楚这个晶体生成的经过。那么我们现在也说得出锶原子的最初历史吗?

锶原子在宇宙史上是在什么地方生成的呢,是怎样生成的呢?

为什么锶的光谱线在有些星体上特别闪亮夺目呢，锶的光谱线在太阳光线里起什么作用，它是从哪里来的呢?锶怎么会聚集在地壳表面上，怎么会集合在熔化的花岗岩岩浆里，怎么又和钙一起聚集在白色的长石晶体里呢?

这一切问题摆在地球化学家面前，现在还没有得到解答。地球化学家说明这些问题，不可能像我方才解释基斯洛沃德斯克附近的天青石蓝色晶体的历史那样清楚。同样，地球化学家对于锶原子历史的最后几页也是写不出来的。

过去在长时期里，人们对于锶从来没有注意过。有时候要造红色烟火才想到用它，但是也用不了多少，所以从地底下开采出来的锶盐还是不多。后来有一位化学家替锶在制糖业上找到了恰当的用途：他发现锶和糖能够生成特别的化合物，叫做糖化锶，利用锶可以从糖蜜里分离出糖来，这个方法很成功。于是各国普遍地用起锶来，德国和英国锶的开采达到了很大的规模。可是后来另外一位化学家发现，制糖业上还可以用比较便宜的钙来代替锶。用锶精制糖的方法不再需要了，从此大家又把锶丢在脑后，锶矿也停工了，只有某些地方从别种矿物的废料里提取出锶盐来制造红色烟火。

可是 1914 ～ 1917 年的第一次世界大战爆发了，信号弹的用量突然增加起来。为了高空照明，为了航空测量，都非用到会透过烟雾的红色烟火不可，探照灯上的碳棒也需要稀土和锶的盐类浸渍过。

于是锶又找得了新的用途。

后来冶金学家研究出提取金属锶的方法。锶和钙、钡两种金属一样，可以用来清除钢铁里有害的气体和杂质。

于是黑色冶金工业上就用起锶来。化学家、冶金技术家和生产部门又重新注意到锶；现在，当我讲天青石这种蓝色矿石的故事的时候，地球化学家又在努力寻找天青石的矿床，研究锶怎样聚集在中亚细亚的山洞里，大工厂也在制取锶的盐类，想办法把锶的盐类从矿水里提出来，——一句话，锶又成了工业上和农业上需要的元素了。至于锶以后的命运怎样，我们还不敢说。锶的历史的第一页和最后几页，我们地球化学家暂时都还不知道……

我对疗养院听众讲的关于天青石的故事就此结束。

一向认为谁都用不着的这种蓝色晶体，现在得到了听众的另眼看待，一下子成了参加苏联社会主义建设的一分子。大家这才同情我们赶大清早到采石场去的那种举动，就连疗养院的主治医师，他起初埋怨我们把屋子装满了石块，说这是破坏了疗养院神圣的制度，这回也不再唠叨了。

于是我决定写一篇关于天青石的故事。这篇故事收在我写的《岩石回忆录》那本小册子里。

你们谁要是不嫌烦的话，我劝你们也去读一遍那篇短故事，这样能帮助你们记住这种蓝色的天青石到底是怎样美妙的矿石。

锡——制造罐头的金属

锡是很平凡的金属，好像一点也不出名。尽管我们常用，然而我们在日常生活上很少提到它。

这种金属替人类服务，却并不用它自己的名字。青铜、马口铁、焊镴、巴弼合金、活字合金、炮铜、镴箔、“意大利”粉、漂亮的搪瓷、颜料等等——这些物品多种多样，都很有用，然而许多人根本不知道，这些物品的最重要成分都是锡。

这种金属的性质很奇妙，非常特别；有几点性质到现在还不明白是什么缘故，在地球化学上还没有得到详尽的解释。

锡的来源是地底下升上来的花岗岩岩浆，这种岩浆里含有大量的硅石，就是一般所说的“酸性”岩浆。然而并不是一切酸性岩浆里都有锡，所以我们到今天还不知道，锡跟花岗岩的关系受着什么规律的约束，为什么有些花岗岩里有锡，而另一些看来是一模一样的花岗岩里却没有锡。

还有一个有趣的问题：锡是重金属，但是别看它重，它却不像别的许多种重金属那样沉在岩浆的底部，而是浮在岩浆的面上，所以它总是留在花岗岩体的最上层，这是为什么呢?

原因是这样的：岩浆里熔解着多种的蒸气和气体，这些气态物质很容易逸散，当中起着很大的作用的是卤素——氯和氟。我们根据实验知道，锡跟这两种气体甚至在室温下也能化合。在岩浆里，锡跟氯和氟生成了极容易挥发的化合物——锡的氟化物和氯化物。正是因为当时锡是在气体状态的化合物里，所以它能够跟硅、钠、锂、铍、硼等等元素的挥发性化合物一起向上冲出一条路，一直跑到在凝固着的花岗岩体的上层，甚至会跑出花岗岩的范围，钻到花岗岩上面别种岩石的裂缝里去。

到了花岗岩的上面以后，由于物理化学条件有了改变，锡的氟化物和氯化物便跟水蒸气进行反应。于是锡就离开了把它带上来的氟和氯而跟水里的氧化合在一起，这样的生成物已经不是气态的物质，而是有光泽的固态矿物——锡石，这就是工业上提炼锡的主要矿石。在生成锡石的同时，有时候还生成许多别的重要的矿物，例如黄玉、烟晶、绿柱石、萤石、电气石、黑钨矿、辉钼矿等。

花岗岩岩浆里挥发性的卤素化合物可以生成很大的锡石矿床，但在不太久以前我们知道，这并不是锡石矿床的唯一成因。这些挥发性化合物升到花岗岩的面上以后再过一段时期，也就是在最后一部分花岗岩岩浆凝固的时候，也可以生成锡石。在那个时候，岩浆里的水蒸气都变成了液态的水，把好多种金属的化合

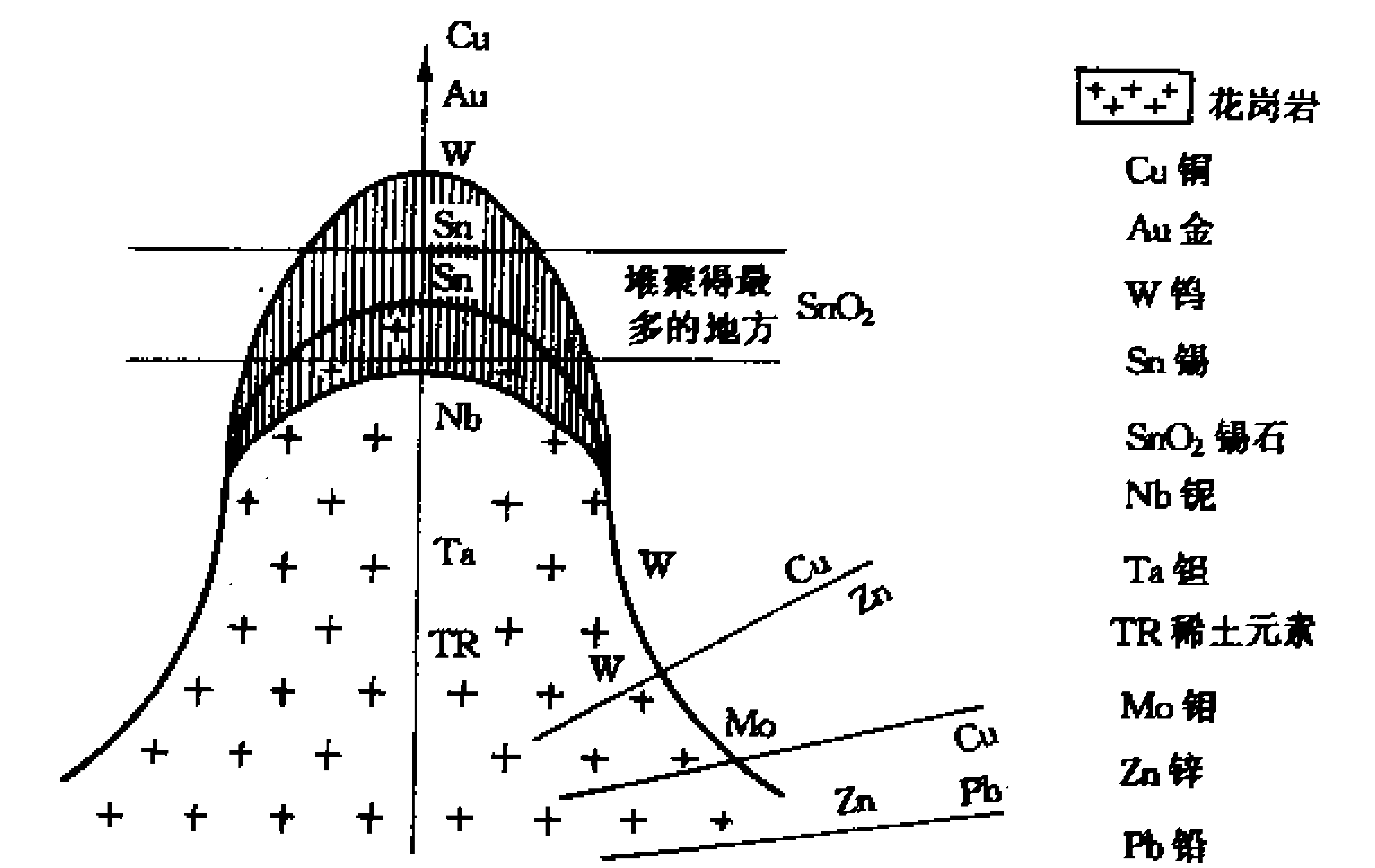


含锡石的伟晶花岗岩脉。土耳其斯坦的山岭

物——主要是硫化物——都从岩浆发源地带了出来，带到很远的地方去。这种作用过程中有许多点我们到现在还不十分清楚。但是我们知道，岩浆里的锡也可以像这样随着硫一同出来。值得注意的是，这里硫的作用也只是把锡携带出来；锡一出来，就像先前抛开了卤素那样把硫抛掉，却跟氧进行化合，这样生成的仍然是它自己最喜欢生成的那种矿物——锡石。

我们知道，还有好多种矿物也都含锡，但是所有这些矿物都非常少见，有几种更是特别稀少，所以它们在工业上的价值是根本谈不到的。过去也罢，现在也罢，锡石终究是提炼锡的唯一的矿石，它的成分是 SnO_2，纯净的锡石里面大约含锡 78.5%。

锡石大多是黑色的或黄褐色的矿物。如果是黑色的，那就是因为它含有铁和锰等杂质。偶尔也有蜜黄色或红色的锡石，至于无色的就十分稀罕。通常锡石的晶体非常小，由于锡石的硬度大，化学性质稳定，比重也大，所以它在花岗岩风化的时候不会被破坏，也不被分散，而是跟别种重的矿物一起聚集在花岗岩被破坏



锡和它的同伴在花岗岩体上层的分布简图

的地方——在河床里或海岸上，有时候还生成含量丰富的冲积矿床。

因此锡石或者是从它的“原生矿床”里，或者是从它的“次生矿床”——冲积矿床里开采出来的。

锡石开采出来以后，首先都要进行选矿，也就是去掉它所含的各种杂质，然后才进行熔炼。这就是利用燃料里的碳使锡还原出来。锡石里的氧跟碳化合变成二氧化碳跑掉，剩下的就是金属锡。



玻利维亚的拉兰古阿锡矿开采的情形，这地方海拔4500米(1940年)

从锡石里提炼出来的纯净的锡是柔软的银白色(比银的光泽稍稍暗些)金属，有延展性。锡可以展成极薄的薄片，这一点是很特别的，锡的熔点是231摄氏度。

锡还有许多独特的性质。大家知道锡会“喊叫”，就是说把它弯曲的时候会发出特有的响声。另外还有一个奇怪的性质，它对寒冷的感觉非常灵敏，这个特点是决不能不注意的。锡一受冷就会“生病”。这时候它就由银白色逐渐变成灰色，体积逐渐增大，同时开始碎裂，而且常常碎成粉末。锡的这种病很严重，就是所谓“锡疫”。好多种很有艺术价值和历史价值的锡器，都因为得了这种瘟疫而损毁掉。有病的锡还会把这种病传染给没有病的锡。幸而“锡疫”是可以治疗的。就是把有病的锡再熔化一次，然后使它缓慢地冷却。如果这一操作(主要是冷却过程)做得十分仔细，那么锡就能恢复原状，恢复它原来的性质。

在远古时代，正是锡有力地推动了人类文化的发展。人在很久以前就认识了锡。人利用锡比利用铁早得多：在公元前五六千

年的时候人还不会熔炼铁，然而已经会熔炼锡了。

纯净的锡是柔软而又不结实的金属，不适宜制造用品，但是在铜里面羼上10%的锡，便制成一种金黄色的合金——“青铜”，它的性质非常好：比纯净的铜硬，极容易浇铸、煅打和加工。假如我们把锡的硬度定做5，那么铜的硬度就是30，而铜跟少量的锡熔成的合金——青铜的硬度是100～150。青铜的这些性质使人类有过一个时期普遍地应用它，考古学家甚至特别划出了一个历史时代，叫做青铜器时代，那时候所用的劳动工具、武器、生活用品和装饰品主要都是用青铜造的。当时人们是怎样发现这种了不起的合金的，这一点我们现在还不知道。可以假定，当时人们一再地熔化混有锡的铜矿石(我们现在也可以找到铜和锡的这种“复合”的矿石)，最后终于注意到了铜和锡的混熔的结果，这样就懂得了这种合金的用途。

考古学家发掘古代人住过的地方，时常在各种文物里面发现青铜制品——日用品、铜币和铜像，这些铜器埋在地底下都没有损坏。如果要鉴定这些铜器是当地造的还是从别处转来的，那就要进行化学分析，才能得到可靠的结果。

古代提纯金属的方法很不完备，利用现代精密的分析方法，可以把古代金属里所含的好多种微量的杂质(元素)逐个检查出来。知道了它里面含的杂质，有时候就可以推想出来，古代人是在什么样的矿里开采出铜和锡来制这件器皿的。假如历史学家或考古学家能够证明说，某一件青铜器就是在它出土的地方制得的，那末地质学家和地球化学家就应该立刻在这个地区里勘探锡矿。这样就很可能重新找到早已被人遗忘了的锡矿。

即使到了后来——在青铜器时代以后的铁器时代，青铜也并没有丧失它的价值。人们用它来制造艺术品，开始用它来铸造硬币、钟和大炮。

锡跟铅、锑等等金属也都能生成性质优良的合金。

合金是现代技术上的奇迹，是起着“魔术”变化的世界。两

种或者更多的金属熔化在一起的时候，这些金属的原子就改变配搭的方式而产生种种“奇迹”，苏联科学家已经研究并且解释了这些现象。由于合金内部的分子结构有了改变，合金的性质就和它所含的任何一种金属的性质都不同。例如，由柔软的金属熔成的合金的硬度，常常是大得想不到的。

锡跟铅的合金叫做巴弼合金，在巨大的、精密的仪器和机床里面，如果有钢轴转动得非常快，为了防止它出毛病，就要用到巴弼合金。所以这种合金又叫做“减摩合金”，因为它非常不容易磨损(拿术语来说，就是摩擦系数很低)。它在技术上的意义是极大的：它可以大大地延长贵重机器的使用期限。

锡可以“焊接”别种金属，这个性质也很宝贵；我们技术上应用的所谓“焊镴”——锡跟铅和锑的合金，就是利用锡的这个性质的。

锡在印刷业上的用途或许还不是每个人都知道的。锡是所谓“活字合金”里的主要成分，利用活字合金可以浇成铅字，浇成“铅版”。

白色的氧化锡粉末常常叫做“意大利粉”，用它来磨擦白色的和多色的漂亮的大理石，就能把大理石的表面磨得像镜面一样亮，这是用任何别的物质所办不到的。

锡的多种多样的化合物都广泛地用在化学工业上和橡胶工业上，用在印花布工业上，用在毛和丝的染色上，还用来制造搪瓷、釉药、有色玻璃、金箔和银箔；至于锡在军事工业上的异常重大的意义，那更不必说了。

最早发现的锡的矿床是在亚洲，在欧洲的不列颠群岛南部也有发现，那时候甚至把这些岛叫做“锡石”群岛。很难说，锡石这种矿物是因为这些岛而得名的呢，还是这些岛是因为锡石而命名的呢；锡石这个名字由来已久，古希腊诗人荷马早在他写的诗“伊利亚特”里用过这个名字来代表锡。值得注意的是，英国的康瓦尔半岛的锡石是跟黄铜矿产在一起的，所以这种矿石一熔炼

就能得到青铜。

现在锡的主要产地是马来半岛，这里锡的产量差不多占全世界的半数。

在马来半岛，已知的锡矿有200多处，有的是含在花岗岩里的，有的是含量很丰富的冲积矿床。开采冲积矿床的方法是



马来半岛的锡砂冲积矿床。用水力冲洗机(水炮)冲洗，冲洗出来的泥浆顺着沟渠流走。图示依欧果列 巴古鲁矿(1940年)

利用水力；巨大的水力冲洗机向锡砂喷射强烈的水柱。混杂着各种矿物的泥浆流向特别的沟渠，当地的工人就站在沟渠里用力搅拌这些泥浆。这个繁重的劳动主要是由童工来做的。沟渠的出口处有一道门槛，由于锡石的密度大，它流到这里就会被门槛截住，然后不时地把沉积的锡石铲出去运走。显然，这种开采方法非常原始，是在残酷地剥削着工人的劳动。

这样开采到的锡石的含量是60%～70%，接着就运到工厂里去炼锡。

为了锡，帝国主义国家相互间一直在进行着激烈的斗争。在第二次世界大战期间，日本把亚洲大陆和岛屿上的锡矿以及

属于英商的新加坡炼锡工厂抢到手里，为的是满足日本自己军事工业上的需要，而且也为了帮助当时迫切需要锡的希特勒德国。日本这样做的另一个目的，是使美国和英国完全丧失这种重要的战略金属的来源。

请打开世界地图看看：含锡的花岗岩和跟这种花岗岩分不开的锡矿，以及钨矿和铋矿，在太平洋沿岸分布成一个条形地带，这条带子从南到北通过勿里洞岛、邦加岛、新克浦岛、马来半岛、泰国、中国南部。

这个条形地带里有储藏量丰富的锡矿以及和锡矿石在一起的别种化合物，但是为什么会形成这一类的条形地带呢?地球化学正在努力寻找这个问题的答案。

除了马来半岛，南美洲玻利维亚的锡石储藏量也非常丰富。玻利维亚的锡矿分布在科迪勒拉山脉里。澳大利亚的塔斯马尼亚



工厂里制成的大堆罐头食品

岛和非洲的比属刚果[1]也都有锡矿，但是储藏量都不太多。

现在全世界每年产锡量差不多有20万吨，当中40%～50%都用来制造马口铁片。

随着罐头工业的发展，马口铁片的需要量也急剧地增加起来了。

千百万千克的肉、鱼、蔬菜和水果都装在用马口铁片造的罐头里面，读者们，你们想过马口铁片的重要性，想过这种罐头的作用没有?马口铁片是什么东西呢?它是涂上了薄层锡的铁片，这层锡的厚度只有1/100毫米左右。铁片涂上了锡制成罐头，就能防止铁生锈。纯净的锡不会溶解在罐头里的汁液中，因而对于人的健康是几乎没有损害的。铁涂上任何别的金属都不如涂锡好，铁涂了锡，性质最稳定。

现在可以说，锡已经度过了它的“青铜器时代”，变成了制罐头用的金属了!

碘——到处都有的元素

大家都很熟悉碘这种东西，我们手指头受了伤，就涂上一些碘酒，原先是用混合着牛奶的红褐色的碘滴。碘是大家都知道的药剂，可是碘究竟是什么，它在自然界里的命运怎样，对于这些问题，我们所知道的是多么贫乏啊!

很难找出另外一种元素有比碘更不可捉摸、更充满矛盾的了。我们对于它知道得很少，对于它旅行史上最主要的环节又是那样不了解，直到现在我们还弄不清为什么用碘可以治伤，以及地球上的碘是从哪里来的。

---

[1] 即现在的刚果民主共和国(刚果·金)。——审读者注

应该提一提，俄罗斯伟大的化学家门捷列夫早已经碰到了碘的讨厌的特性。他按照原子量递增的顺序来排列全部元素，然而碘和碲却破坏了这个规律：碲的原子量比碘大，可是碲排在碘的前面。这种排法到现在还是保持原状。

当时几乎就只有碘和碲这两个元素破坏了门捷列夫周期律的严整性。固然，现在我们已经说得出这样排法的理由，可是多少年来，始终认为这是一个莫名其妙的例外；并且有人屡次批评门捷列夫的辉煌的理论，说他对于元素的排列是瞧着怎么方便就怎么排。

碘是固体，它生成具有真正金属光泽的灰色晶体。它像是金属，闪着紫色的光，可是如果我们把金属似的碘的晶体放在玻璃瓶里，那么很快就能看出瓶的上部有紫色的蒸气：碘不经过液态，很容易升华。

这就是你们亲眼看得到的第一个矛盾，而跟着还有第二个矛盾呢。碘的蒸气是暗紫色的，可是碘本身却是金属形状的灰色晶体。而碘的盐类一般又是无色的，看着和普通的食盐一样；只有少数几种碘的盐类稍带黄色。

碘还有另外一个谜。他是特别稀有的元素：据苏联地球化学家估计，碘在地壳里的含量才占地壳质量的 $1/10^7 \sim 2/10^7$，可是地球上没有一处没有它。我们甚至还可以明白地说：如果用最精密的方法来分析的话，那么我们周围的世界里，决没有哪一个地方最后不发现碘的。

一切东西都含碘：不论坚硬的土块和岩石，甚至最纯净的透明的水晶或是冰洲石，都含有相当多的碘原子；海水里含有大量的碘，土壤和流水里含的也不少，动植物和人体里含的更多。我们从空气里吸取碘，空气是饱和着碘的蒸气的；我们又通过饮食把碘摄进身体里。生物没有碘就不能活。于是问题也就很清楚了：为什么到处都有碘，这么大量的碘是从哪里来的，它最初的来源是什么，这种稀有的元素是从地下多深的地方跑出来和我们

接触的呢?

可是连最精密的分析和观察都没有发现它的神秘的来源，因为不论在火成岩的深处，不论在流动着的熔化的岩浆里，我们都没有见到过一种碘的矿物。地球化学家这样描述地球上碘的来源：远在地质史前的时代，当地球刚包上一层坚硬外壳的时候，各种挥发性物质的蒸气形成浓密的云层，包围着当时灼热的地球。这时候碘就和氯一起从地下深处熔化的岩浆里分离出来，而从热的水蒸气最初凝结下来的水流就把这些碘和氯抓了过去，最初的海洋就是这样从地球的大气里得到碘而把它储存起来的。

碘的来源究竟是不是这样，现在我们还不敢肯定，而且连碘在地球表面上的分布状况还完全是一个谜。碘在北极地区和高山上比较少，在低洼的地方和靠近海岸的岩石里比较多，在沙漠地



帕米尔中部山脉。这是在登上6500米高的斯大林峰的时候照的像

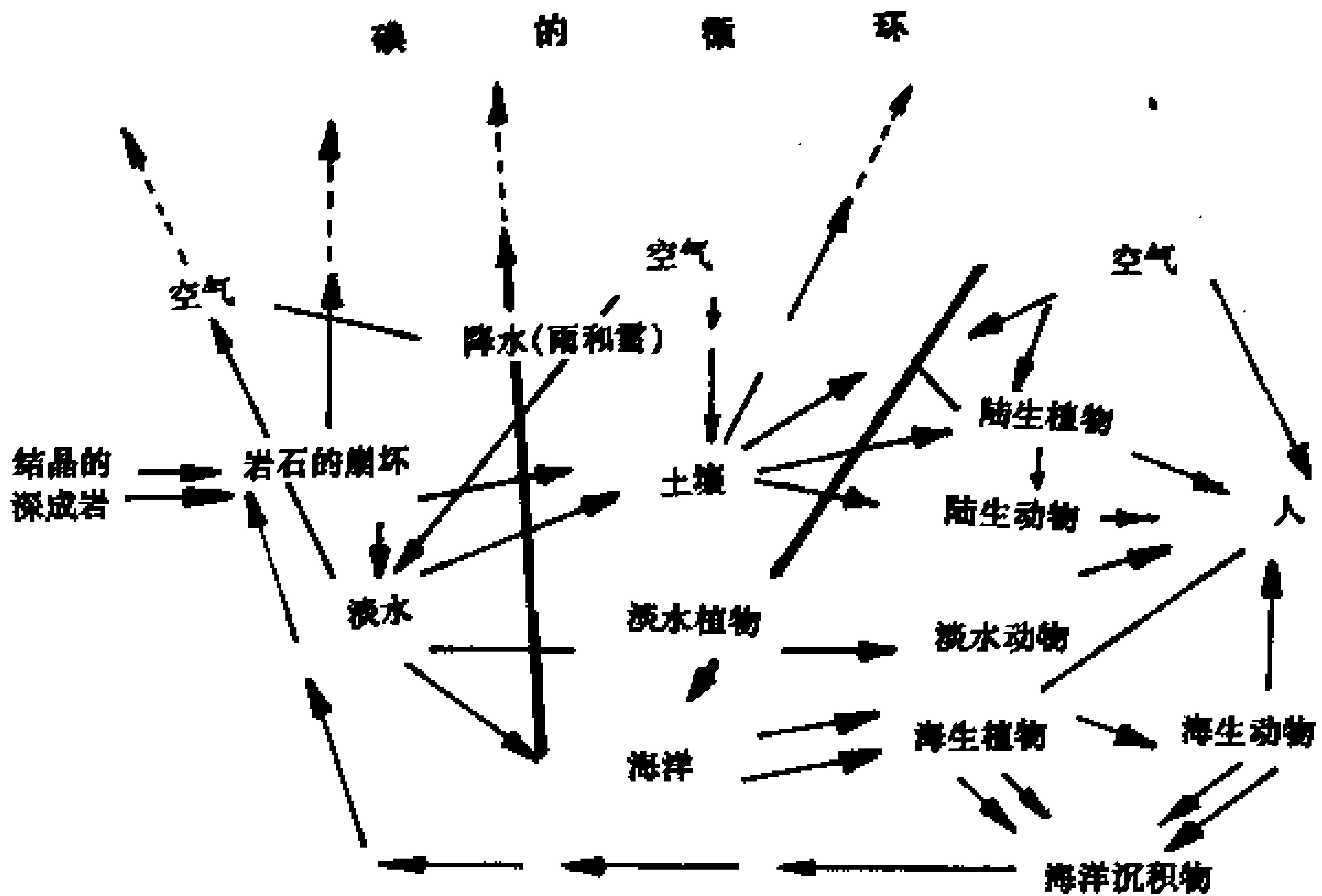
方还要多些，而在南非洲的大沙漠和南美洲的亚他喀马沙漠所产的各种盐里，我们更能发现含碘的真正矿物。

碘还能溶解在空气里：根据精密的分析，知道碘在空气里的分布是有一定严格的规律的：它的含量是随着高度而变的。碘在

莫斯科、嘉桑的高度上，比在帕米尔和阿尔泰4000米以上的高山上不知要多出多少倍。

同时，我们不但知道地球上有碘，在那从渺茫的宇宙空间落到地球上来的陨石里也发现了它。科学家早就应用新的方法来研究太阳和星体的大气里的碘，可是眼前还没有成功。

海水里碘的含量实在不少：每1升海水含碘2毫克，这已经是相当可观的了。海水在靠岸的地方，在三角港里，在靠海的湖泊里渐渐浓缩起来，于是就在那里积存下盐，铺在平坦的



碘在地球上的循环

岸上像一层白色的毯子。黑海沿岸克里木地方和在中亚细亚的许多湖泊里，都有这样堆积起来的盐，都已经经过苏联科学家详细的研究。然而那些盐里没有碘，碘不知道消失到哪里去了。的确，是有那么一部分碘还留在湖底里，留在淤泥里，可是大部分都已经挥发跑到空气里去，只有一小部分保存在残余的盐水里面。凡是聚集着钾盐和溴盐的地方，几乎是找不到碘盐的。

但是有时候在盐湖和海的沿岸生长着许多植物，密密丛丛地长满了各种水藻，这些藻类覆盖在沿岸的石头上。由于某些还不甚了解的生物化学的作用，这些水藻体里却聚集着碘；每一吨水藻里含的这种奇异的元素碘有几千克。在有一些海绵体里，碘的含量更多，多到 8% ～ 10% 。

苏联的科学家对于太平洋沿岸研究得特别透彻。主要是在秋天，浪涛把 30 多万吨的海带打到沿岸广大的地面上来。这么多的褐色海藻含有几十万千克的碘。人们把这些海带捞来以后，留一部分当做食物，而把另一部分小心地燃烧，从里面提出碘和钾碱来。说到这里，碘在地壳里的历史还没有说完。含有石油的地下水里也含有碘。巴库附近有这种废水，苏联现在就从那种废水里提出碘来。

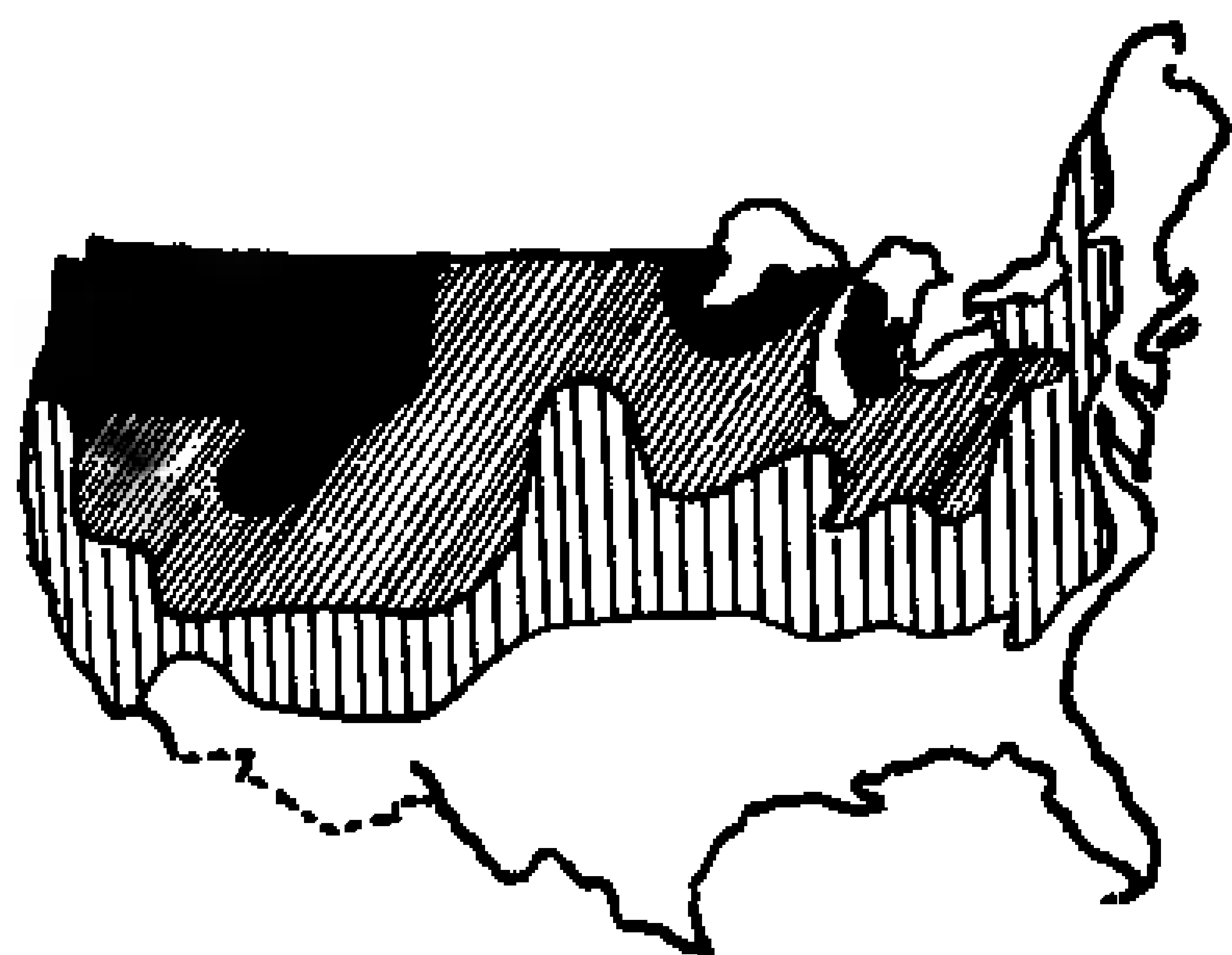
有些火山也会从它的谜似的地下深处喷出碘来。

在地质史上这个元素的命运既然是那么多种多样，所以要替这个自然界里永远漂泊不定的原子画出一幅完整而连续的生活图和流浪图，确实是难得很。

而碘一旦落在人的手里，又产生了一个新的谜：我们用碘治伤、止血、杀菌、防止伤口感染，可是碘却又特别毒，碘的蒸气刺激粘膜。过多的碘滴或碘的晶体，都会把人毒死。然而最奇怪的是，要是缺少碘，对于人的健康更加有害。人体，也可能有许多动物，都一定要含有一定量的碘。我们知道，在缺乏碘的某些地方，人们会患一种特别的病，叫做甲状腺肿。高山地区的居民常患这种病。我们又知道，高加索中部和帕米尔一带高山的有些村落，这种病也流行得很厉害。这种病在阿尔卑斯山地也很著名。

近来美国科学家知道美国有些地区也在流行着甲状腺肿。如果画一张甲状腺肿流行地区的分布图，再画一张水里面含碘的百分率图，那么这两张图是彼此符合一致的。

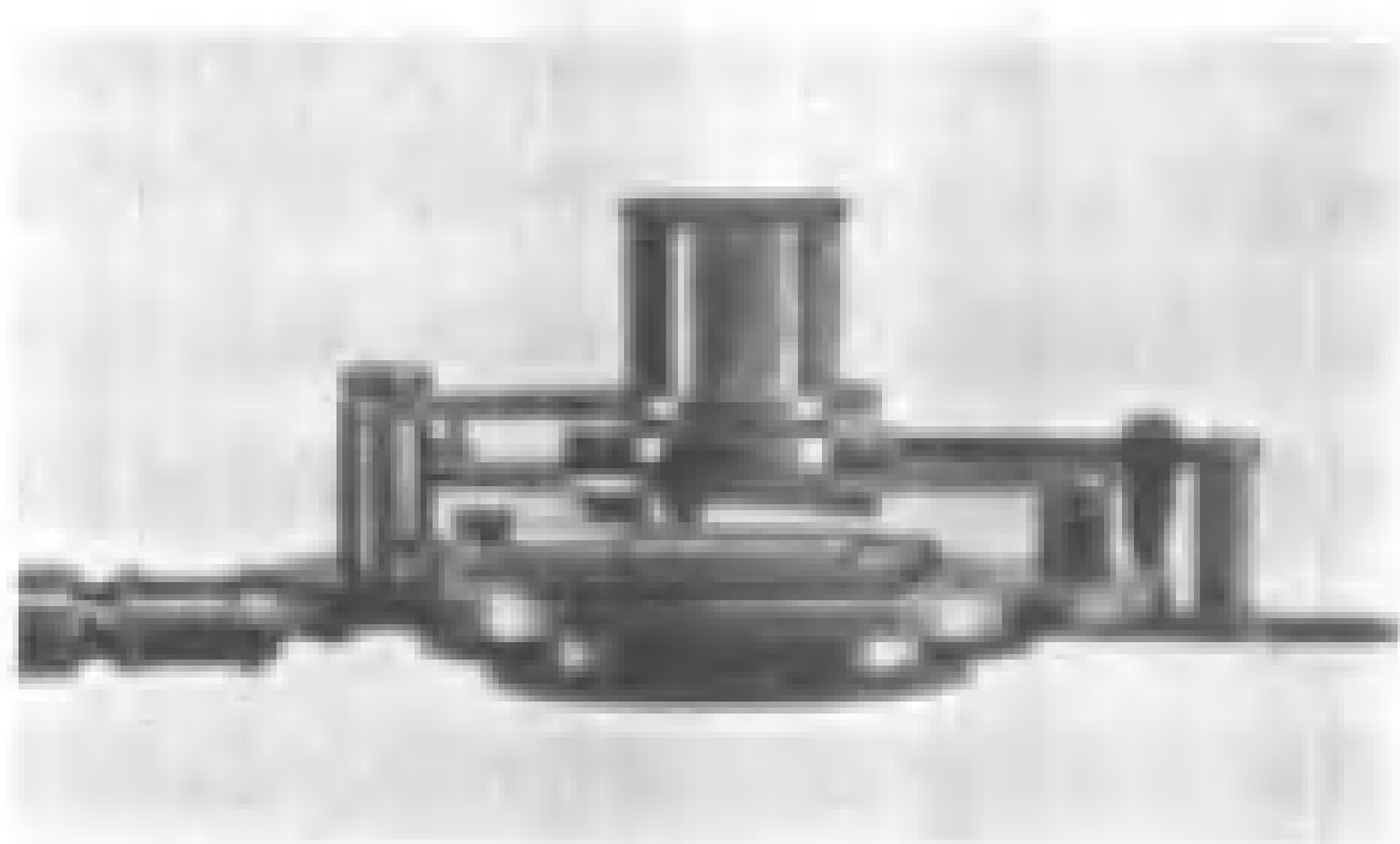
人体对碘特别敏感，空气里和水里一旦缺少碘，马上就会影响到人的健康。甲状腺肿的治法是服用碘盐。



美国甲状腺肿病分布地区和水里含碘量的分布图：碘少的地方；这种病人就多。空白——饮用水里含碘量 $3/10^{10} \sim 20/10^{10}$，每年每 1000 人里的病人是 $0 \sim 1$；直格——饮用水里含碘量 $2/10^{10} \sim 9/10^{10}$，每年每 1000 人里的病人是 $1 \sim 5$；斜格——饮用水里含碘量 $0.5/10^{10} \sim 2/10^{10}$，每年每 1000 人里的病人是 $5 \sim 15$；黑块——饮用水里含碘量 $0/10^{0} \sim 0.5/10^{0}$，每年每 1000 人里的病人是 $15 \sim 30$

碘参加工业的活动也很有趣，碘在工业上的用途已经越来越普遍，越来越多了。一方面，发现了碘和有机物的化合物，这种化合物能够形成不让 X 射线透过的装甲，把这种化合物注射到人体组织里，就能把组织内部特别清晰地照下像来。

我们知道，近年来还把碘用在另外一些方面。赛璐珞里加了碘，就会有特别的价值，这里所用的是一种特别的碘盐，是针状的细小晶体。赛璐珞里羼进了这种晶体，就会阻止光波从各方面透过。这样就生成所谓偏振光。许多年来苏联造了一些特别的、非常贵重的偏振光显微镜，而现在由于出现了这种新的起偏振片，已经造出了非常优良的放大镜，完全可以代替显微镜用。这种放大镜在野外勘探的时候很有用。把二二片起偏振片配好来看东西，能把各种东西的色彩看得非常清楚；我曾经这样来看过太阳光照着



袖珍矿物放大镜，装着羼有碘化物的起偏振片，这是阿尔新诺夫(В. В. Аршинов)，教授设计制造的

的装饰用的壁毯或者电影的银幕，把两片起偏振片一转动，真是好看极了，太阳光谱的全部颜色都很快地在改变。如果把起偏振片装在汽车的玻璃窗上，你在夜里照明的大街上行驶，就不会被迎面开来的汽车灯光迷住眼睛，因为隔着起偏振片看不出光辉夺目的灯光，而只看见一辆汽车的前面有两个发光的小点罢了。

飞机飞在黑暗的城市上空，用降落伞投下含镁的照明弹，靠着照明弹的光，就能从飞机上用起偏振片来看清楚地面上的一切动作。

你们看，这个元素的用途是多么多种多样，而且多么广泛，关于它的命运、旅行路线，又有多少令人迷惑不解的问题和矛盾。还需要深入研究，才能弄清楚它的全部性质，才能了解这个在我们周围世界里到处都有、无孔不入的元素的本性。

这个元素的发现史也很有趣。它是在 1811 年由一个药剂师库图阿在植物灰里发现的，库图阿本来开着一个小工厂，用植物灰制造硝酸钾。这个元素的发现并没有引起当时科学界什么特别的注意，直到 100 年以后，这个发现才得到应有的评价。

我叙述这个有趣的元素，按说到此可以结束了，可是我脑子里还有一个念头要说一说。在门捷列夫周期表碘的那一类里，碘的下面是一个空格。门捷列夫已经注意到这点，并且说过，将来会发现一种新的元素来占这个空格。他把那个新元素叫做“类碘”。我们把它叫做 85 号元素。可是什么地方有这个 85 号元素呢?它藏在哪儿呢?它决不可能没有，早晚会在世界上说不定什么地方发现的。

人们在盐湖里残余的盐水里和岩盐矿床里早就找遍了。人们发现在星体和太阳之间、行星和彗星之间的宇宙空间有些稀疏的原子，于是就到那里去找它，人们又到一切天然金属里去找它，可是哪儿也没有。

许多年来，科学家用分光镜观测，好像在什么地方看到了

一条相当于 85 号原子的光谱线，可是新的研究并没有证实这个发现，所以直到现在，85 号那格还是空着[1]。

这个还没有发现的神秘的原子究竟是什么东西呢?大概它也和碘一样有它的玄妙的历史，大概它还有比碘更出奇的性质；也正是因为这些性质，所以才这样难发现。也许因为它在宇宙里存在的时间太短，短到连最精密的仪器都抓不住它；也许因为它的电荷太强，所以根本不能在自然界里存在。但是如果在地球上会找到 85 号元素，那么它一定是比碘更奇异的元素，一定有比碘更加不可思议的性质。

碘和它的周期表上的伙伴的谜，是值得科学家下功夫去研究的!

氟——腐蚀一切的元素

在我计划编写这本书的时候，我决定要有一节专门讲氟和它的奇妙的性质，可是临到该写这一节的时候，我却又不得不停下笔来。我从来没有研究过氟和它的化合物，对于美丽的氟的矿物以及它在工业上的用途，也从来没有发生过兴趣，所以编写这一章也就困难了。

我只得去翻看我自己过去写的短文。我在谈论地球上各种化学元素的短文当中，找到了不少材料，这一节就是根据这些材料编写的。

达尔文在自传里说过科学家应该怎样工作。

他说，科学家不必把一切都记住，每一项有趣的观察以及在书上遇见的每一件珍奇的知识，都应该分别记在小纸片上，至于

[1] 参看“化学元素简单介绍”里的“砹”。——编者注

每一本涉及他所研究的问题的书，都应该在摘录以后分别放到书架上去。

达尔文反对科学家有一个包罗万象的大书库。他给自己提出在最近几年里要解决的许多问题，并且一心一意地去寻求答案。他为了每一个问题曾经几十次搜集材料，每一个问题的材料占用了他的书柜子的一格或两格。

过了几年甚至10年，他才这样积累有关某一个科学问题的大批翔实材料。他把这些材料和书籍汇集起来，按照一定的顺序编写成他的著作里相当的章节，这些名著就是现代生物科学的基础。

按照这种方法来编写大部头的书籍和写作专题论文是非常方便的，我早在20年前就开模仿达尔文的先例，决定以同样的方法给我自己的著作准备材料和书籍。我和我的大书库分了手，把它交给科拉半岛的希宾研究站，我这里只剩下不多的书，都是和我在最近几年里要解决的问题有关系的。

这里有一个大问题，就是写一部地球上全部化学元素的历史，把随便哪一种金属元素的原子在宇宙间的旅途里的复杂经历告知地质学家、矿物学家和化学家，说明这种元素的性质以及它在地球上和落在人手里以后的动态。

于是，当我该写氟的时候，我就在书夹子里找到5段关于“氟”的记载。现在我就把它大致照原来的样子整理如下：

第一段

我早就想去看看外贝加尔著名的矿床，有人从那里给我带来奇妙的黄玉晶体。黄玉是一种美丽而珍贵的氟矿石；那里的萤石呈色彩各异的晶体以及不同色彩的晶簇。萤石是工业上需要的一种原料。

我们终于坐着火车到了满洲里车站。

有一辆马车停在车站上，马车顺着外贝加尔南部的草原跑



外贝加尔南部的景色

去，美丽的鼠曲草像一条密织的白毯子铺在广阔的大草原上。我们走上了通向山顶的斜坡，越往前走，景色越引人入胜。蓝色的、浅黄色的和浅蓝色的黄玉都是从这里的一个个花岗岩露头上开采到的；我们看见伟晶花岗岩的空洞——“晶洞”里有美丽的萤石八面体晶体，那是氟和金属钙的化合物。而特别使我们感到惊奇的，是在一个小山谷里有一个产量极其丰富的矿床。

这里没有由冷却了的花岗岩的灼热水溶液里沉淀出来的单个晶体，而都是大量聚集的、有各种各样色彩的萤石，有粉红色的，有紫色的，有无色透明的，它们在西伯利亚东部的阳光下闪烁发光。

矿工把这种贵重的矿石开采出来，经过西伯利亚全境，运到乌拉尔、莫斯科和列宁格勒的冶金工厂去。我在这里仿佛看见了气体怎样从古代地下深处熔化的花岗岩里喷出来。其中挥发性的氟化合物就聚集成萤石。这种萤石的形成反映出大块花岗岩在地球深处缓慢冷却过程中的一个阶段，那种花岗岩的周围就是它喷出的蒸汽和气体。

说到这里我想起了这种萤石的历史上的另外一幅图画。我记得旧矿物学上讲过萤石的色调怎样优美，说用它可以制造一种贵重的花瓶，叫做萤石瓶。

我又想到，英国有一个完整的萤石加工工业，在博物馆里我们能看到精美的萤石制品。

最后我又想起莫斯科近郊的一件事来。

当我年轻的时候在莫斯科市第一国民大学担任矿物学讲师的时候，有一次我给学生提出这样一个课题：大家集体鉴定莫斯科市周围的矿物。那些矿物里就有一种引人注目的紫色石块。那石块是在 140 多年前(1810 年)，在莫斯科省维列雅县的拉托夫山谷找到的，所以叫做拉托夫石。

这种矿物在石灰岩里生成一堆堆紫色的美丽矿层。在伏尔加河支流——奥苏加河和瓦祖泽河沿岸一带，有整片的这种矿物，呈暗紫色的立方晶体。我们热情地把这种紫石块拿来研究，原来它是纯净的氟化钙，也就是我现在讲的萤石。这种美丽的紫石块是那样多，它在石灰岩里生成的矿层又是那样整齐，所以很难说它是从灼热的熔化的花岗岩喷出的气体产生的，就像外贝加尔产的黄玉和西伯利亚东部产的萤石那样。

这种萤石的沉积层和莫斯科一带的基础——古代的花岗岩隔离着 2000 米以上，因此伏尔加河支流沿岸所以会聚集起这种美丽的萤石，我们一定要找出另外的化学作用的因素。苏联青年依靠卡尔宾斯基(А. П. Карпинский) 院士的帮助，弄清了这种岩石的来源。



亚历山大·彼特罗维奇·卡尔宾斯基院士(1847 ~ 1936)

原来这里的拉托夫萤石和古代莫斯科海的海底沉积物有连带关系，这些萤石聚集的时候又有生物参加作用的，有些海生的贝类，特别是石灰质的贝壳里，在它们的细胞里含有结晶的氟化钙。这里所描写的这一幅古代的图画清楚地指出，氟在自然界里移动的路线是多么特别，多么复杂。

第二段

这是出席丹麦首都哥本哈根国际地质学会议的一篇简短的日记。

大会闭幕以后，我们访问了哥本哈根附近著名的冰晶石工厂。那些雪白的冰晶石和冰块一样，是从格陵兰沿岸冰天雪地的山顶上运来的。奇怪得很，这种石头的外观像冰，而它的唯一产地又刚好是格陵兰西岸的冰天雪地的北极地带，正是十分相合。



冰晶石从格林兰运到欧洲。这种矿物是铝和钠的氟化物，
在炼金属铝的时候要用到它

当地大规模地把冰晶石开采出来，然后用船装运到哥本哈根。先把冰晶石送到专门的工厂去，从这种矿石里提出别的矿物，特别是铅、锌、铁的矿石，最后剩下的是和雪一样洁白的粉末，在炼铝的时候用做熔剂。

把这种白粉末当做宝贝似的装在特别的箱子里，送到化学工厂，让它在工厂里等待着新的命运：把它和铝的矿石一起放在电炉里熔化；炼出来的熔化的金属闪着银光，流进事先准备好的大槽。这种金属就是铝，现代制铝的一切方法都少不了冰晶石。

现在没有别的方法来炼铝，铝这种金属不论在和平工业和军事工业上都是必需的，现在全世界每年的铝的产量差不多是200万吨。

巨大的发电装置让大河和瀑布的潜在的能量发出电来，然后用冰晶石来熔融氧化铝，制出纯粹的金属铝来。固然，现在用人造的氟化铝和氟化钠的复盐，而不用天然的冰晶石了。然而它还是冰晶石，只是不是天然的而是化学工厂里人造的罢了。

第三段

在塔吉克斯坦景色奇丽的湖畔矗立着险峻的峭壁，峭壁上发现了纯净透明的萤石片。这种萤石竟透明到这样的程度，可以用它来制造显微镜的镜头和一些精密的仪器。我们实在是太需要透明的萤石了，所以特别派了勘探队到这个湖边的悬崖上



塔吉克斯坦伊斯坎捷尔-库尔湖，左面的“石蕈”是岩石风化的结果



塔吉克人在看塔吉克斯坦所产的萤石晶体

去[1]。我们读到这个勘探队的报告里讲到的在致密的石灰岩里开采白色透明的萤石所遇到的非凡的困难，真觉得十分感动。

经过长期的劳动以后，已经凿出了一条小路通向湖边悬崖上的萤石矿床。可是要把一块块贵重的矿石往下运，运到湖边的村子里去，却还要困难得多。采这种矿石的塔吉克人用双手一个人一个人地传递，把这种珍贵的石块运下来以后，用软草包好，装在箱里，再驮着运到撒马尔罕[2]。苏联光学仪器工厂就这样取得了异常洁净的萤石，所以能造出精确而纯净的透镜，造出全世界

---

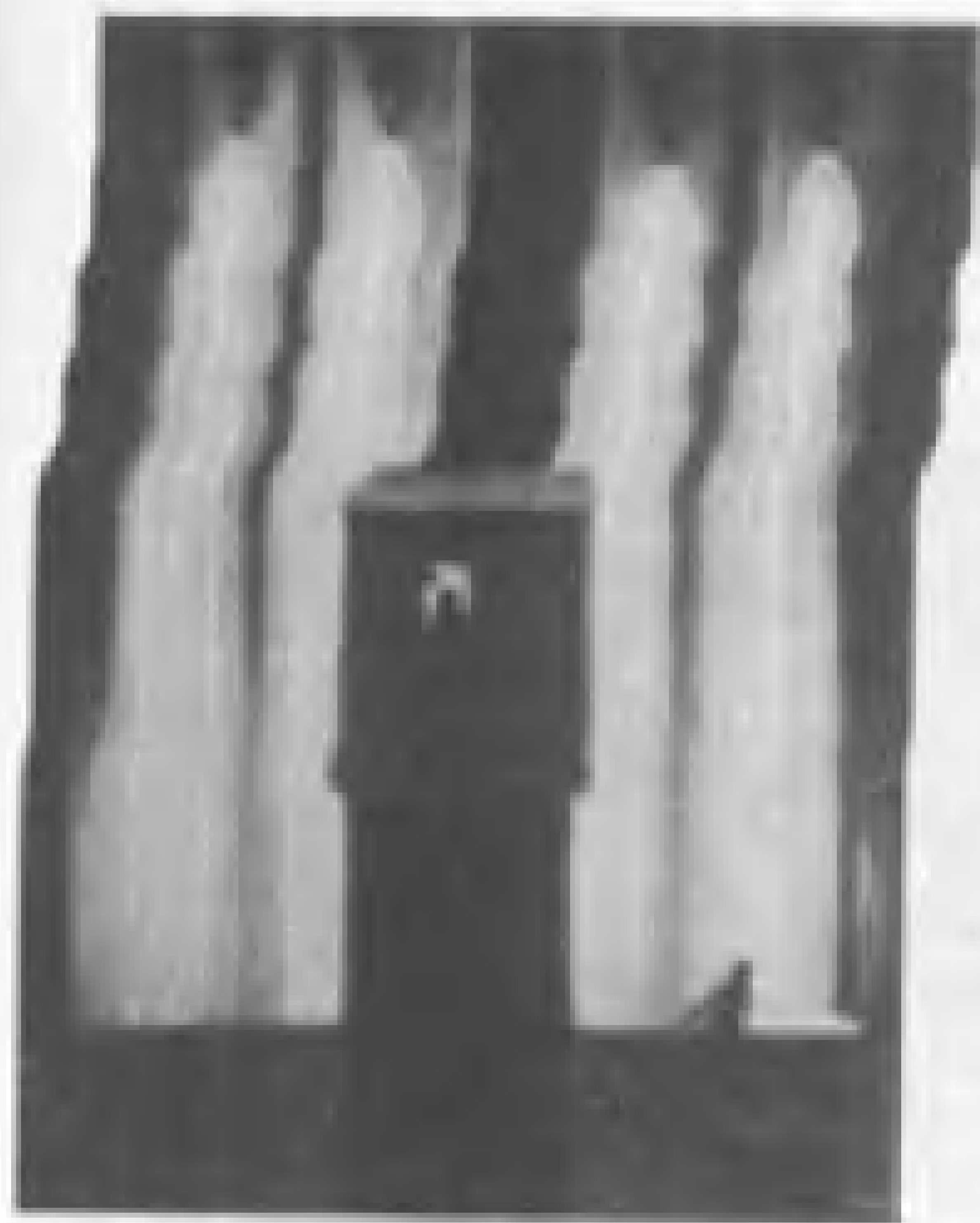
[1] 塔吉克人把萤石叫做“白石头”。这个矿床是在1928年由一个叫做纳札尔·阿利的小牧童发现的。——编者注

[2] 光学上用的萤石是一种特别娇嫩的矿物。它不但会震碎和碰碎，就连温度激烈改变也会破碎。即使水的温度和空气的温度相差只有几度，如果把它从空气里放进水里，它也会产生裂纹，这就失去它在光学上的宝贵性质。——编者注

最好的光学仪器。

第四段

在捷克斯洛伐克某疗养地休养的时候，我们受到了邀请去参观这个城市附近的一座玻璃工厂，这座工厂是按照最新的技术设计的。我们看了制造大块镜玻璃的车间。它的规模之大真是惊人。巨大的窗玻璃片像整条的带子似的熔制出来。有的车间制造高级质地的精制玻璃，用稀土的盐类和铀的盐类来染成各种颜色。最有趣的是雕刻美术画的车间。用最纯的玻璃制成花瓶，涂上一层薄薄的石蜡，富有经验的雕刻家用刀具在石蜡上画出复杂的图画。有的地方用小刀把石蜡层刮去，有的地方刻成细线，于是我们看到了一幅在森林里猎鹿的图画。然后照着这个模型复制。用特别的仪器描出图画的轮廓，这间大房子里放着的几十个涂好石蜡的花瓶上都画上了同样的画。所有花瓶都逐渐显出同样的轮廓，出现了森林和狗追鹿的图画。然后把这些花瓶放进特制



玻璃的长筒。当玻璃筒长到约10米的时候，就把它切开展平成一块块的玻璃片



在玻璃工厂里制造镜玻璃

的炉子，炉子用铅衬里，把有毒的氟化物的蒸气通进炉里。氢氟酸侵蚀了玻璃上没有涂蜡的地方，有的地方侵蚀得深些，有的地方浅些，受侵蚀的表面成了毛玻璃。再把花瓶放在热酒精里，有时候放在水里，或者单独加热，把石蜡熔掉；这样，由于氟的蒸气的侵蚀，就出现了很细致很好看的图画。最后只要用特别的、快速旋转的刻刀把画面上有的地方修理一下，有的地方刻深一点，大功就告成了。

第五段

最后，在我关于氟和它的矿物的记载中，找到了大学化学讲义里的一段摘录：

“氟是气态元素，有难闻的麻醉臭味，化学性质特别活泼，几乎能和一切元素化合，同时发生爆炸或产生大量的热，它甚至能和金化合。怪不得制取它特别困难。虽然社勒在 1771 年就发现了氟，但是纯的氟是 1886 年才制得的。”



1886 年莫瓦桑在巴黎他的实验室里初次制得了氟

自然界只有氢氟酸的盐类是大家熟悉的，主要是氟化钙，那是一种色彩美丽的矿物，叫做萤石，它很容易使金属矿石熔化。

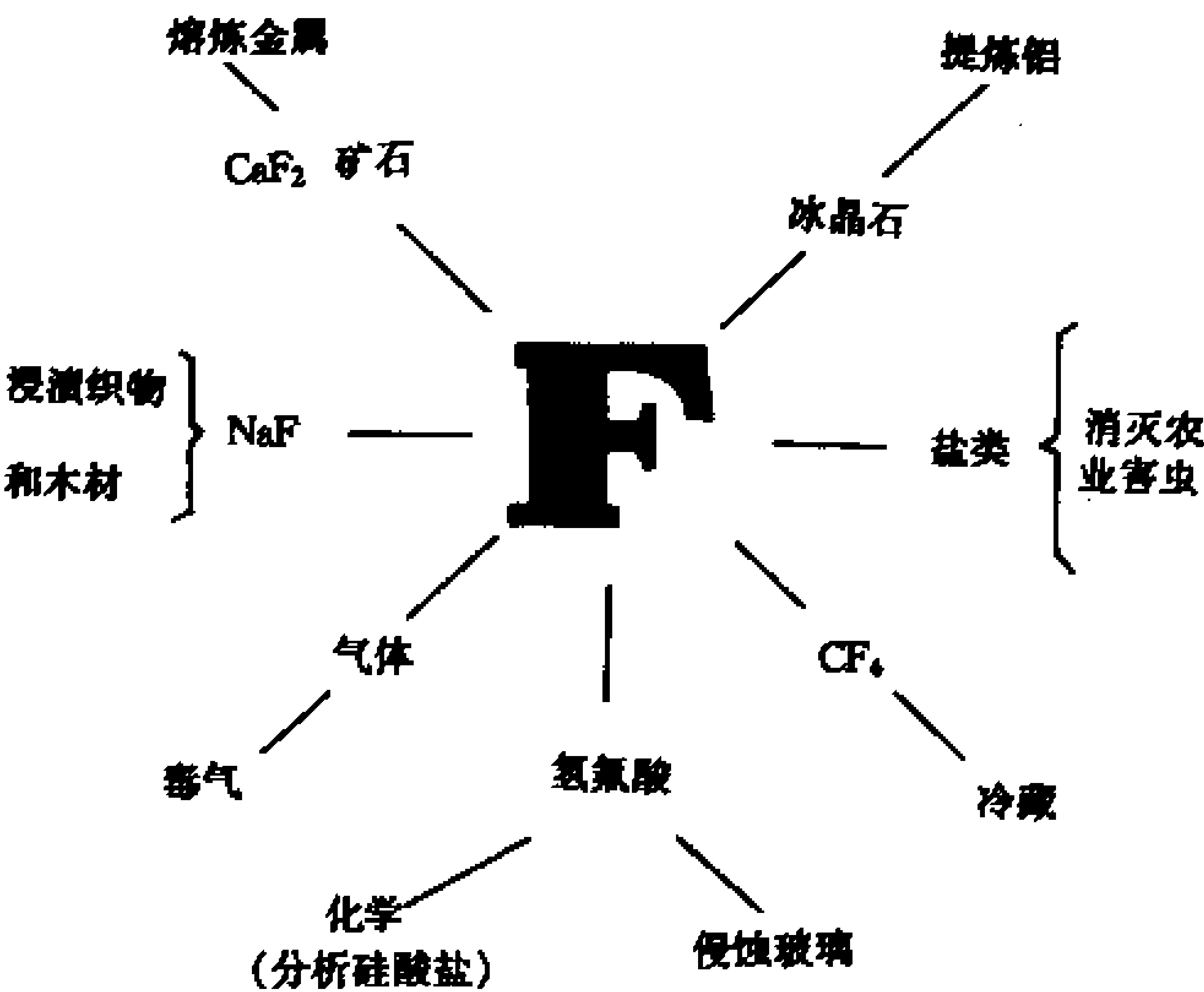
但是氟在自然界里还广泛地分布在另外一些化合物里，例如磷灰石里含的氟就达到3%。

在地球化学史上，氟是由熔化的花岗岩里喷出的挥发性的物质生成的，但是也有少量的氟含在海洋沉积物中，是由有机体聚集成的氟化物。

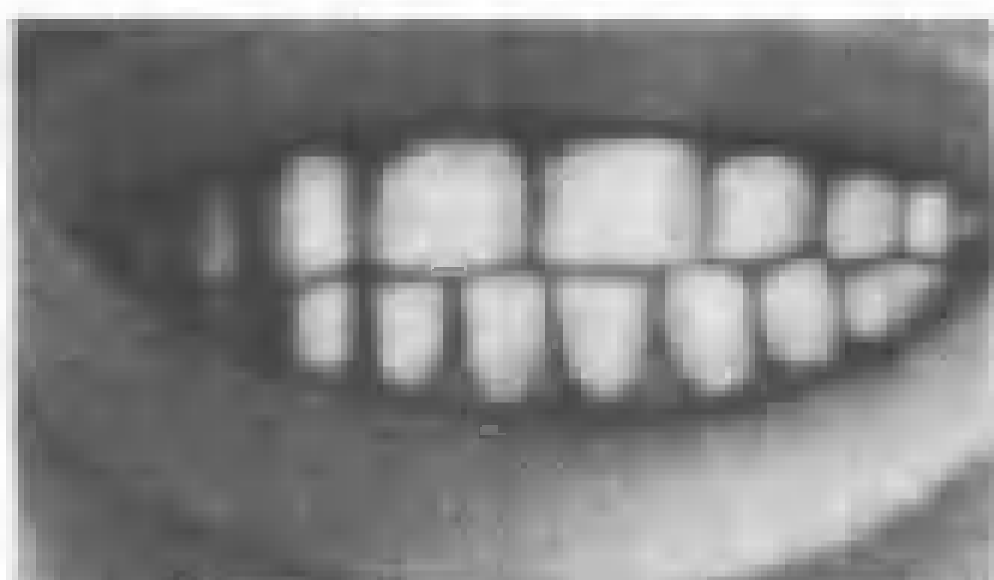
块状的萤石可以制造光学玻璃，光学玻璃和普通玻璃不同，能透过紫外线；有美丽色彩的萤石可以做装饰品。

但是萤石的主要用途是由于它能使金属的矿物容易熔化。同时也用它来制取氢氟酸，氢氟酸有特别强的溶解能力，能够侵蚀玻璃，甚至侵蚀水晶。

冰晶石是氟化钠和氟化铝的复盐，用电解法制铝就要用冰晶石。氟在植物和别的生物的生活中起的作用很大，氟是生命必需的物质，但是氟的含量过多也很有害，会引起许多种疾病。



氟在工业上的重要用途




健康的牙齿(左)和被氟侵蚀过的牙齿(右)

海水所含的氟非常重要，海水里的氟有一部分是由生物的作用(贝壳、骨骼、牙齿)聚集起来的，另一部分却含在复杂的碳酸盐，特别是磷酸盐(纤核磷灰石)里。每1升海水里含氟1毫克。牡蛎壳里含的氟是海水里含的20倍。



斯大林工厂里在检验电气冰箱

近年来，科学家根据门捷列夫的周期表分析了氟化物的性质，发现了氟的新奇的用途，就是：可以用它制造一种特别的物质，叫做四氟化碳。四氟化碳没有毒，和空气混合也不爆炸，性质稳定，从固体变成气体的时候能吸收大量的热。正因为这样，所以可以用在特别的冷藏库里。现在只用四氟化碳就可以造成很

大的冷藏装置，来贮藏各种食品。

结语

这就是我在书夹子里找到的5段记载的内容，用我自己的话说了一遍。这一节仿佛已经把自然界里这个奇妙的元素差不多讲完了，其实这个元素的前途比这里说的要远大得多。将来许多最复杂的气体都会和氟有关系。再也没有比氟的化合物更可怕的毒物了，也没有比氟的化合物更好的防腐剂，它能够保持低温，甚至可以达到零下100摄氏度，这样我们就能够在小柜子里保存食品，而且费不了多少钱。

氟这个元素还研究得极不透彻。它的复杂的化合物有很特别的性质，关于这方面还有许多可以研究的，至于将来它在国民经济上的用途广泛到什么程度，以及将来它在工业上的命运怎样，这些我们现在就很难说了。

铝——20世纪的金属

铝是最有趣的化学元素之一。它之所以有趣，不只是因为它在短短几十年里面，在我们的日常生活中、技术上、国民经济的一些最重要部门里起了非常重大的作用；不只是因为这种轻金属跟镁在一起可以用来制造强大的飞机，而是因为它的性质，特别是它在地球化学上所起的作用。铝这种金属，虽然文明的人类直到不久以前才认识它，然而它却是最重要而又分布最广的化学元素之一。

我们大家都很清楚，在不同的时期里由于岩块的风化和破坏而生成的粘土和沙的下面，有一层包着整个地球的岩石地层，也就是一般常说的地壳。

这层岩石非常厚，它的厚度不会小于几百公里，而根据最近的推测，可能还比这个要厚得多。从这一层再深入下去，就逐渐转到另一个地层，那就是含铁和别种金属的矿层，再下去，到末了就是地球中心，那儿显然是一个铁核。

包着地球外表的岩石在地面上生成巨大的凸出部分，就是大陆或洲。在这些凸出的大陆上又隆起更凸出的褶皱，就是长条的山脉。

构成大陆和山脉的基础的这层地壳，是由铝硅酸盐和硅酸盐构成的。顾名思义，就能知道铝硅酸盐的成分是硅、铝和氧。这就是为什么这层地壳常叫做“硅铝层”的道理。

硅铝层的主要成分是花岗岩，拿其所占质量百分数来说，含氧大约 50%、硅 25%、铝 10%。可见，铝在地球上的分布量，在全部化学元素里占第 3 位，在全部金属元素里占第一位。铝在地球上含量比铁还多。

铝、硅和氧是构成地壳的最重要的元素，这 3 种元素在这层岩石里生成了各种各样的矿物。这些矿物里的原子都排列得很有规则；1 个四面体，或是 1 个硅原子在中央，或是 1 个铝原子在中央，4 个氧原子规规矩矩地分布在 4 个角上。

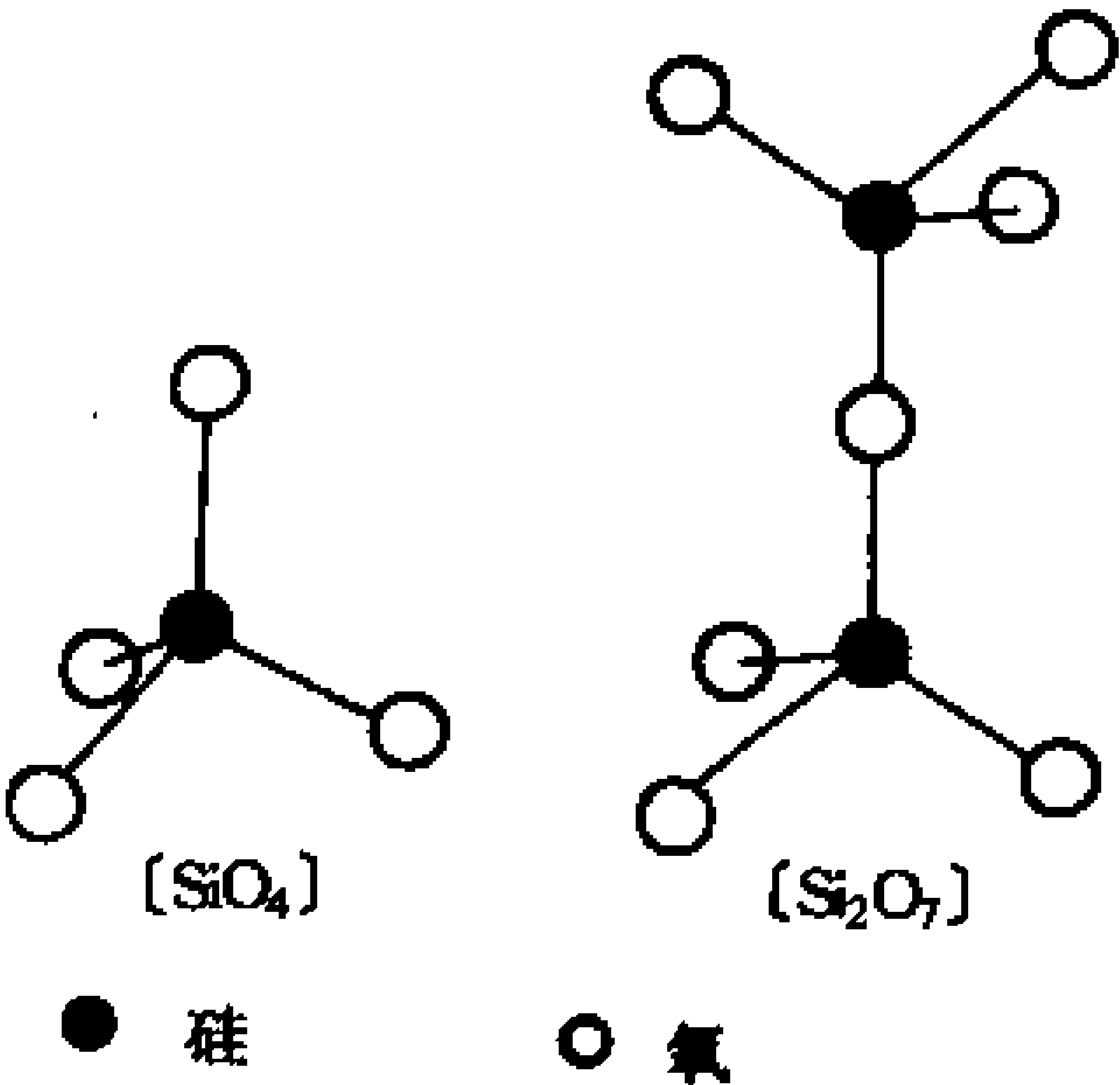
可见，除了硅氧四面体以外还有铝氧四面体。而且铝在这些四面体里起着双重的作用：或者像别的金属似的，分布在各个硅氧四面体的当中来把这些四面体连结起来；或者在有几个四面体里就占着硅的位置。

下面就是硅和铝的四面体互相配搭的图形，配搭的结果生成了含在地壳里的多种多样的重要矿物，这些矿物总称铝硅酸盐。乍一看，铝、硅和氧的原子排列成的这个复杂的图形像是精细的花边，或者毯子的花纹。要用 X 射线才能确定出来这些图形，X 射线仿佛给矿物的内部结构照了像。

请回想一下，我们小的时候觉得石头多么单调乏味，可是现在我们钻进石头的深处去看看它的结构，这幅图画又是多么

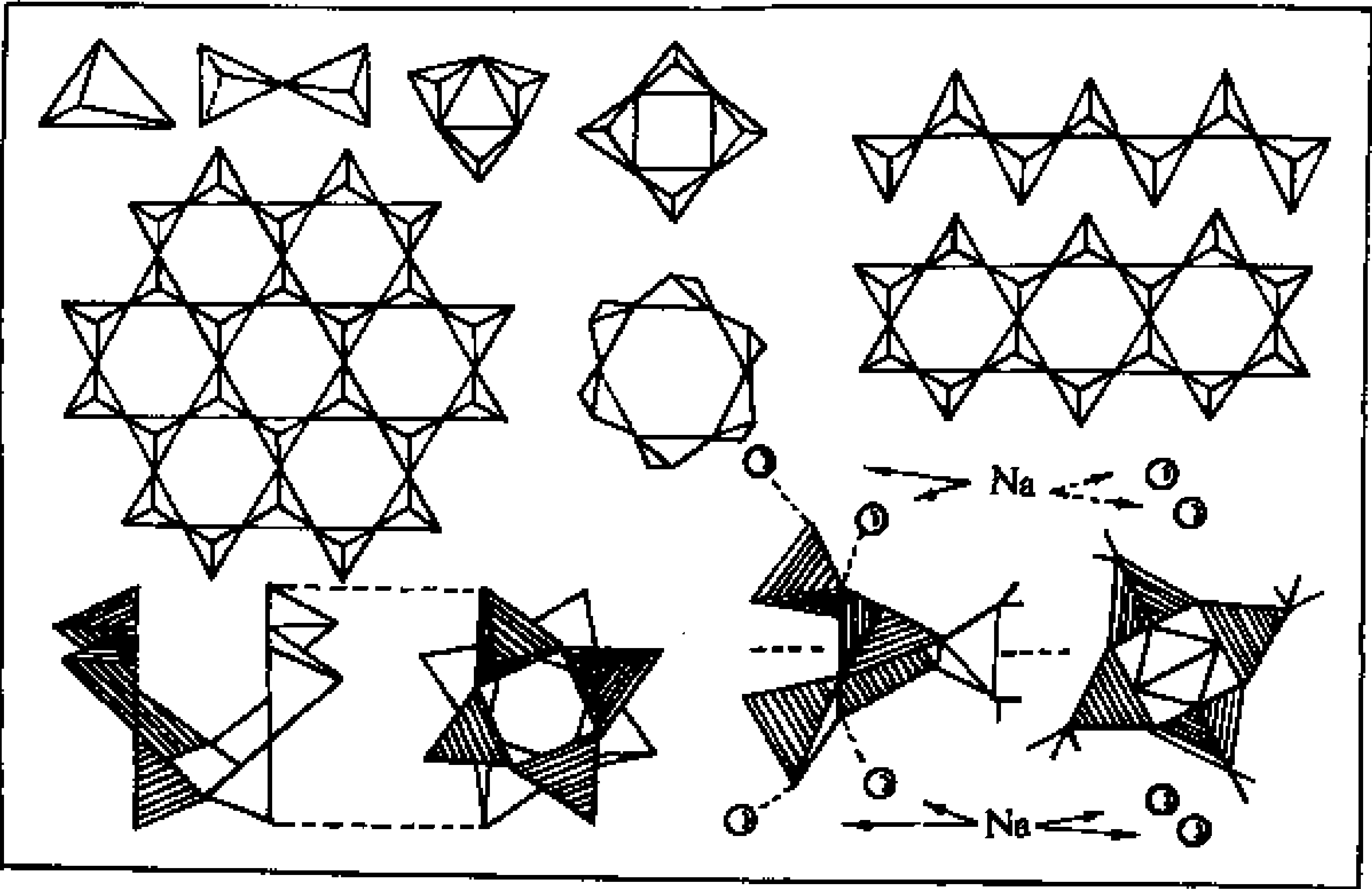
复杂。

有些铝硅酸盐分布得非常广。这只要提一下长石这类矿物就够了，地壳里有一半以上就是长石。花岗岩、片麻岩和另一些岩石里都有长石，这些岩石像石头造的甲胄似的披在整个地球的外面，还在地面上隆起成高大的山脉。



硅氧四面体

由于长石在千百万年里不断地进行风化，结果地面上堆积了大量的粘土，粘土含铝15% ～ 20% 。地面上无处没有粘土，而铝又是在粘土里发现的，所以有过一个时期甚至把铝叫做“粘土素”。的确，用这个



硅氧四面体的不同配搭方法：单个的四面体，两个连成沙漏状的、环状的、链状的、带状的四面体，由六环齿轮状四面体连成的平网，下排是长石和钠沸石(属于沸石群的矿物)的骨架结构的投影



一种叫响岩的火成岩里所含的针状沸石，叫做钠沸石。这是苏联科学院矿物博物馆保藏着的一块标本

名称来称呼铝很不习惯，所以后来把这个名称改变了一下——把氧化铝叫做矾土。

粘土的成分非常复杂，从它里面提炼出铝来相当困难，幸而自然界里含铝的物质不止粘土一种。矾土里就有大量的铝，矾土是铝和氧生成的天然化合物。这种化合物在自然界里有多种多样的状态。

自然界里有一种无水的氧化铝(Al_2O_3)，这种矿物叫做刚玉，它非常坚硬，有时候还非常漂亮。各种矾土的透明度都不相同，这是因为它们除了含铝和氧以外还混有极微量的染色物质——铬、铁、钛，这类有色的矾土都是头等漂亮的宝石。同样是矾土，里面羼上了微不足道的一点杂质，就能使矾土的颜色变得多么丰富多彩啊！这些就是闪着鲜艳色调的红宝石和蓝宝石，人们自古以来就迷恋着这两种宝石。关于这些宝石还产生了多少神话啊！古代人已经会使用不太纯净的、不透明的、褐色的、灰色的、浅蓝色的和浅红色的刚玉晶体，刚玉的硬度只比金刚石稍低。

利用刚玉可以加工各种坚硬的材料，包括制造刀具、武器、机床和机器用的各种钢。

刚玉的小晶体里混入了磁铁矿和别的矿物，就生成大家都很熟悉的“金刚砂”；读者们，我想你们都不止一次地用金刚砂去磨过铅笔刀吧！

当然，从刚玉里提取金属铝也很方便，但是刚玉本身的价值太高，在自然界里的产量又很少。

从远古时代起，早在人类刚开始有文化的那个时候，从石器时代一直到现在，人们始终在普遍地使用着花岗石、玄武石、斑

岩、粘土以及由铝硅酸盐生成的别种岩石，利用它们来兴造整座城市，建筑房子，制造艺术品和器皿，烧制陶瓷器。

但是几千年来，人从来没有想到过铝这种金属的一些宝贵而奇异的性质，从来没有想到过藏在这些石头里的这种金属。

在自然界里铝从来没有生成金属状态，它总是和别种元素生成多种的化合物，这些化合物在性质上和外表上跟金属铝完全不同。

人们进行了顽强的劳动，才得到了这种奇异的金属，才使这种金属有了生气。

最初是在125年前左右，有人提炼出来了少量的有银色光泽的金属铝。当时谁也没有想到，它在人类生活上会起什么作用，何况它的制备又非常困难。可是到了19世纪初，科学家用电解法制铝成功，他们在高温下电解熔化的铝的化合物，铝就在阴极上析出来，被掩在一层渣滓下面。这样提炼出来的铝是纯净的银色金属，所以当时叫它做“粘土里提出来的银”。

后来工厂也用这个方法制铝，于是铝的用途就飞快地扩大起来。铝的颜色跟银的一样，但是铝的性质实在奇怪得很。

现在已经不是从粘土里来提取纯净的氧化铝。自然界对我们提供了一种合用的铝矿石，是含水的氧化铝（矾土的水化物），生成一水硬铝石或三水铝石。这两种矿物常常跟铁的氧化物和二氧化硅混在一起，并且生成粘土状的或石头似的矿层——铝土矿，这种矿主要含在滨海沉积物里。



球状的铝土矿——乌拉尔“小红帽”矿所产的铝矿石

铝土矿含有极多量的氧化铝（50%～70%），是工业上制铝用的主要矿石。苏联化学

家研究并且掌握了一种新的方法来把希宾山所产的矿物——霞石（$Na_2Al_2Si_2O_8$）变成氧化铝。蓝晶石页岩含有 50%～60% 的氧化铝，白榴石和钠明矾石也都含氧化铝，现在科学家正在试从这些矿物里提出氧化铝来。但是到目前为止，除了霞石以外，这些矿物还没有一种能代替铝土矿的。

金属铝的提炼要经过两步独立的过程。第一步是先把铝土矿进行相当复杂的处理，从里面提炼出纯净的无水氧化铝——矾土。第二步是把氧化铝放在特制的电解槽里进行电解，这种电解槽里放着石墨板。

把矾土粉末跟冰晶石粉末混合好以后就放在电解槽里。一通入很强的电流，槽里就产生高温(大约 1000 摄氏度)，冰晶石就熔化，矾土也就熔融在冰晶石里面。接着，矾土受到电流的作用就分解成铝和氧。通过的时候，槽的底部就是阴极，熔化的铝就在阴极上面聚集起来。槽底有一个特制的可以开关的出口，可以让铝流出去流到模型里去，液态的铝在模型里就凝固成银色光泽的铝块。


工厂里正把熔化了的铝浇注到模型里去

在 100 年前要制取这种白色的轻金属是一件非常困难的事情，所以那时候 1 磅铝值 40 个金卢布。现在由于利用巨大的水力来发电，铝也就可以大量地制取了。

铝的一些性质谁都知道得很清楚。它是一种非常轻的金属，质量几乎只有铁的 1/ 3。铝的延展性极大，而且相当结

实：可以抽成丝，又可以压成极薄的片。铝的化学性质也很奇特。一方面，它仿佛不怕氧化，这一点我们看了锅、罐等等铝制的器皿就能知道；但是另一方面，铝跟氧的亲合性又非常大。这种像是自相矛盾的性质，俄罗斯伟大的化学家门捷列夫早就指出过。问题是在于，银色光泽的铝刚一提炼出来，就立刻在空气里蒙上一层没有光泽的氧化铝的薄膜，这层薄膜能防止铝继续受到氧化。并不是每一种金属都有这种自卫能力的。例如谁都知道，铁的氧化物——铁锈，就丝毫不能防止铁受到进一步的破坏：因为这层氧化物太松脆，很容易让空气和水透过去。反过来，包着铝的这层氧化物薄膜却非常致密有弹性，是铝的可靠的保护层。


制得的铝块

铝一受热就跟氧气激烈化合而变成氧化铝，同时放出大量的热。铝燃烧时放热的这个性质，在技术上可用来从别种金属的氧化物里提炼那种金属，方法就是把金属铝的粉末和那种金属氧化物混在一起。这种方法叫做铝热法，金属铝在这种作用过程当中从别种金属的氧化物里夺取氧而使这些金属还原出来。

假如你把氧化铁的粉末跟铝粉混在一起，再用镁条来点燃这种混合物，你就会亲眼看见氧化铁和铝发生激烈反应，产生大量的热，这时候的温度会高到 3000 摄氏度。在这样的高温下，被铝还原出来的铁呈液态，而生成的氧化铝就像渣滓似的漂在铁的表面上。人们就利用铝的这种活泼的性质来制取某些难熔的而在技术上很有价值的金属。

钛、钒、铬、锰和另一些金属就是用这种方法来提炼的。由于在使用铝热法的过程当中温度升得很高，所以氧化铁和铝的混合物(所谓铝热剂)就可以用来焊接钢铁 你们大概都见过怎样焊接电车的铁轨吧。铝热剂一燃烧，熔化了的铁就流到两段铁轨接头的地方，而把它们焊接在一起。

像铝这样在很短的时期里面就很快地飞黄腾达起来的元素，实在不多!

铝很快地走进了汽车工业、机器制造业和别的工业部门，在许多地方代替了钢铁。军舰制造业由于用铝而发生了一个很大的变革，譬如用铝就可以制造“袖珍战舰”(这种战舰只有轻巡洋舰那样大，但是有大型战舰的威力)。

人已经学会了从天然产的矿物里大规模地提取这种“银”的方法。“粘土里提出来的银”使人能够彻底征服天空。

制造坚固的飞艇、机身、机翼或者全金属飞机，铝或者含铝的轻合金是最合适不过了。

铝在这门新的工业里得到了非常广泛的使用，我们眼看着这门工业在飞快地增长起来。



现代的特别快车，主要是用铝的轻合金制成的

我们看看天空里的飞机就会想起来，不算发动机，飞机的材料中有69%是铝和铝的合金，就连飞机的发动机里，铝和镁这两种极轻的金属也占到25%。

铝在重工业上的需要量非常大，有些火车车皮几乎完全用铝来制造，铝在机器制造业特别是航空工业上用得非常多，为了制造铝丝和电气工业上的零件，每年也要使用几十万吨的铝。

但是所有这些还不能完全说明这种金属的用途。

铝的用途我们还可以说出几种：探照灯上的反射镜，炮弹和机关枪子弹带上重要的零件，照明弹、燃烧弹里所用的铝粉和氧化铁的混合物。我们还可以想想人造结晶矾土(电刚玉、刚铝石)的巨大意义，现代这种物质就是用上面说过的那种铝土矿来制造的，它们用做研磨料，主要是用在金属加工上。

纯净的氧化铝羼上一点染色物质以后让它结晶，我们就得到非常漂亮的红宝石和蓝宝石，这种人造的宝石无论在硬度上和美观上都不比天然产的差。这种宝石不怕磨损，所以它们的主要用途是在精密仪器里用做支承重要部分的“钻”，例如用在钟表、天平、电表、电流计等等仪器里面。

我们把很细的铝粉涂在铁的表面上，就能得到一种特别的不会生锈的铝铁片。细的铝粉还可以用来制造好看的石印油墨。在不久以前，木板画这种民间艺术的作家还很重视铝粉，木板面上涂了油，然后用柔软的蛹似的东西把铝粉撒在板面上。这样，板面上就形成了华丽的、有银色光泽的底子，然后艺术家可以在这个底子上画出花花绿绿的复杂花纹来。

为什么我们说铝是20世纪的金属呢?

因为铝有优异的性质，它的用途在逐年加大，它的储藏量又是无穷尽的，所以我们有充分的理由认为，现在人类使用铝的情形正像过去人类使用铁的情形一样。

再过几百年以后，就可能叫我们这个时代做铝器时代了!

铍——未来的金属

历史学家说，罗马皇帝尼禄喜欢隔着一大块绿色的祖母绿晶体来看角斗士们在圆场里决斗。

尼禄下令放火焚烧罗马，火起的时候，他隔着祖母绿看着腾空的烈焰，看见火焰的红色跟祖母绿的绿色打成了一片，像许多凶恶的黑舌头，竟觉得十分高兴。

古希腊和古罗马的艺术家还不知道有金刚石的时候，如果他们想在石头上雕刻一个人面的像来做永久纪念，并表示自己对这个人的尊敬，他们就为了这个从非洲的努比亚沙漠带来纯净的祖母绿。

印度人从古以来对于金黄色的金绿宝石跟祖母绿同样看重，这种金绿宝石产在印度洋斯里兰卡的沙地里，他们也同样看重浅黄绿色的、蛇色的绿柱石，以及浅蓝绿色的、海水的颜色那样的



绿柱石。在黑板上画着它的晶体的六角形断面

海蓝宝石。后来发现了一种非常稀罕的矿物，叫做蓝柱石，珠宝商叫它做娇柔的“蓝水”，还发现了火红色的硅铍石，这种宝石在阳光下几分钟就会褪色。

所有这些宝石由于它们的色彩美丽、光辉夺目、色调纯净，所以早就引起了人们的注意；好多化学家想研究清楚它们的化学成分，但是谁也没有得到什么新的发现，反而错认为这些宝石都是普通矾土的化合物。

2000年前，埃及女皇克利奥佩特拉就叫人在干旱的努比亚沙漠弯曲难走的地道里，在这些有名的矿坑里挖掘绿柱石和祖母绿。

骆驼商队把从地下深处开出来的绿石头运到红海岸，再从海路运走，于是这些宝石就落到印度王公、伊朗皇帝以及土耳其帝国统治者的宫殿里去了。

发现美洲以后，欧洲人发现南美洲产的暗绿色的祖母绿颗粒大，色调美丽，在16世纪便运到了欧洲。

秘鲁和哥伦比亚大量出产绿柱石，印第安人把这些宝石开出来运到祭坛去供奉女神，他们用一颗像鸵鸟蛋那样大的绿柱石晶体来代表女神的圣像，但是，西班牙人跟印第安人进行了残酷的斗争以后，就把所有这些财宝都抢去了。

西班牙人又劫掠了哥伦比亚当地居民的寺院。但是当地的宝石矿床是在哥伦比亚难以到达的山地里面，所以外来的侵略者在一个很长的时期里始终没有找到，后来又经过了一段长期的斗争，西班牙人才找到宝石的矿坑，才把这些矿坑抢到手里。

到18世纪末年，所有这些矿坑里的宝石都开采完了。

就在18世纪，炎热的巴西沙地开始开采颜色动人的海蓝宝石。顾名思义，这种宝石是有“海水的颜色”的，它真是名不虚传，因为它的颜色千变万化，正像苏联南部海水的颜色那样雄伟壮丽、气象万千；谁要是在黑海沿岸住过或者看见过画家阿依瓦佐夫斯基的著名的油画，他就会十分清楚这种景色。

1831 年，乌拉尔的一个农民马克辛·科热夫尼科夫有一天在树林里收集枯枝，他掘起了一棵树的树根，结果在树根下面的地里发现了俄国的第一颗祖母绿。

世界上各处祖母绿的矿坑都开采了 100 多年。浅色的绿柱石都整车地从地里运出去，但是只有鲜蓝色的才拿来琢磨，剩下的都扔掉不要。

……这就是这种绿色宝石过去的历史，人们在公元前几百年已经讲到了它。

这就是一种未来的金属的历史的开端，这种金属叫做铍。

在 1798 年以前，谁也想不到这些美丽鲜艳的宝石里含有一种未知的有价值的金属。

在法国革命历“六年雨月[1]二十六日”(就是 1798 年 2 月 15 日)，法国科学院举行了盛大的会议，法国化学家沃开伦发表了惊人的消息，他说，一向被认为是矾土的许多矿物，实际上里面含有一种以前没有发现的新元素，他给这种元素起的名字叫“铪”，这个名字的希腊文意思是“甜味”，因为他尝过，这种元素的盐类是甜的。

这个消息很快就传到了别的化学家的耳朵里，他们做了许多次的分析，终于证实了沃开伦的话，但是这种新的金属在矿物里的含量不多，通常一种矿物里只含有 4%~5%。化学家又详细地研究了铍在地壳里的分布量，这才明白它是一种非常稀有的金属。它在地壳里的含量不超过 0.000 4%，不过还比铅或钴多 1 倍，如果和它的伙伴——经常纠缠在一起的金属铝来比，它只是铝的 1/ 20 000。

可是我们的化学家和冶金学家已经掌握了这种金属；最近 15 年来，我们的面前展开了一幅崭新的图画；现在我们把铍叫做未来的最伟大的金属，这决不是没有道理的。

---

[1] 法国革命历的雨月是从 1 月 20 ~ 22 日到 2 月 18 ~ 20 日。——译者注

实际上，这种银白色金属的密度比轻得出名的铝还小一半。铍的密度只等于水的1.85倍，而你知道，铁的密度是水的8倍，铂的密度是水的21倍啊!

铍、铜、镁可以制成很好的合金，而且也非常轻。

固然，铍的广泛用途还不知道，有些国家还把铍的用途当做军事秘密，可是现在我们已经知道得很清楚，铍的合金在各国飞机制造业上的用途已经越来越大，在制造优良的汽车发动机的火花塞的时候，要在瓷里添进去一点绿柱石的粉末，金属铍的薄片很容易透过X射线，而铍的合金特别轻，特别坚固。还有，含铍的青铜制成的发条是特别合用的。

实际上，铍是最奇异的元素之一，它在理论上和实际上的意义都是非常巨大的。

苏联有可能而且一定要向掌握这种金属的道路上前进。

我们已经懂得寻找铍的方法，我们知道，铍含在花岗岩块里面，聚集在熔化的花岗岩所含的最后一部分气态物质里面，跟别的挥发性气体和稀有金属一起聚集在地下深处最后凝固的那部分



从长石矿坑里开采出来的巨大的绿柱石，质量为18吨，颜色翠绿，不透明



长石里的绿柱石晶体

花岗岩里面。

这部分花岗岩就是我们所说的伟晶花岗岩，铍在这里的矿脉里生成了非常漂亮的、闪烁发亮的宝石。

我们发现铍还和别的矿石聚在一起；我们已经知道到哪里去寻找铍，因为我们已经明白了这种轻金属的动态，已经认清了它的全部特征和性质。

铍矿的勘探工作正在开展，勘探的规模一年比一年大。

铍在地壳里移动的路线还提醒了我们它在工业上的用途。技术家正在研究从矿石里提炼出铍来的方法，冶金学家正在研究怎样用铍来制造超轻合金，以便把这种合金用在飞机制造业上。

为了征服天空，为了使飞机和飞艇顺利飞行，就非有轻金属不可，所以我们今天就能预言，将来铍一定会来帮助铝和镁这两



巨大的绿柱石晶体

种现代航空业上所用的金属。

一到那个时候，我们的飞机就可以达到飞行好几千公里每小时的速度了。

为争取铍的这个前途而努力！

地球化学家们，你们要寻找新的铍矿。

化学家们，你们要学会怎样把这种轻的金属跟它的伙伴铝分离开来。

技术家们，你们要炼出最轻的合金来，这种合金放在水里不会沉，像钢那样硬，像橡皮那样有弹性，像铂那样结实，像宝石那样永恒不变……

这几句话在今天听着也许觉得是神话。但是，我们已经亲眼看到有多少神话变成了事实，变成了我们的“家常便饭”啊！不要忘记，我们的无线电和有声电影在20年前的人们看来也是幻想里的神话啊！

钒——汽车的基础

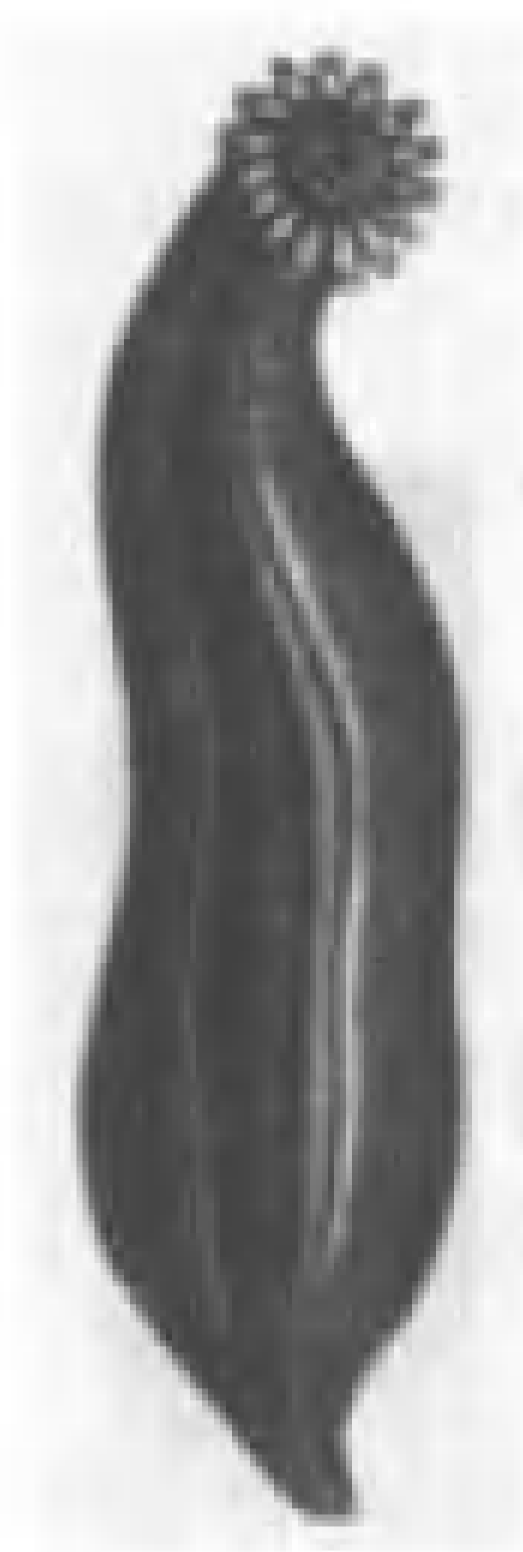
福特说道：“假如没有钒，也就没有汽车”，福特就是因为用钒钢制造汽车轴成功才走运的。

萨莫依洛夫（Я. В. Самойлов）说：“没有钒的话，连有几种动物都生存不了”，——萨莫依洛夫是莫斯科著名的矿物学家，他发现有些海参类动物的血里含钒达到10%。

有些地球化学家认为，“如果没有钒，也就不会有石油”，地球化学家认为钒对于石油的生成起了特别的作用。

这种奇异的金属在很长时期里没有人知道，为了制取它还争吵过好几十年。

“很古很古的时候，遥远的北方有一位女神，叫做凡娜吉



血液里含有钒的海参类

斯，她非常漂亮，谁都爱她。有一天不知道谁来敲她的门。女神正很舒适地坐在安乐椅上，她想：'让他再敲一回吧。'可是门不再敲了，那个人离开她门口走了。女神觉得很有意思，她想：'这个客人到底是谁呀？这样有礼貌，可又这样犹豫不决。'她打开小窗，往街上看了一眼。原来是一个叫做味勒的人，他匆忙地离开她的门口走开了。"

"过了几天，她又听见有人敲门，可是这次敲得很紧，一直敲到她起来开门为止。一看是一个美男子站在她的面前，是萧夫斯特列姆。他们两人很快就发生恋爱，生了一个儿子，叫做凡那吉——这就是钒，是瑞典物理学家兼化学家萧夫斯特列姆在1831年发现的一种新金属。"

瑞典化学家柏采利乌斯在某次写信的时候，一开头就这样叙述钒及其发现经过。可是柏采利乌斯忘记说了，早有一个卓越的人物敲过女神凡娜吉斯的门，那就是戴尔·利奥。他是旧时西班牙最杰出的人物之一，他热烈地保卫墨西哥的自由，是为墨西哥的前途而斗争的战士，又是出色的化学家和矿物学家，是矿山工程师和矿坑测量师，他融会了当时先进科学家的光辉理论。还在1801年，他研究墨西哥的褐色铅矿石，就发现铅矿石里似乎含有一种新的金属。因为这种金属的化合物颜色很多，所以他把它叫做颜色齐全的金属，后来



戴尔·利奥(1764～1849)，墨西哥矿物学和化学教授

又改叫做红色的金属。

但是戴尔·利奥没能证实他自己的发现。他把标本送给几个化学家去研究，他们都错认为含在矿物里的是铬，化学家味勒也犯了同样的错误，所以他没有把握来敲开女神凡娜吉斯的大门。

大家在长时期里始终怀疑，多少人想证明这种金属的独立存在，可是都失败了，这个问题直到落在年青的瑞典化学家萧夫斯特列姆的手里才得到解决。那时候瑞典各地正在建造鼓风炉。当时看到一种奇怪的情形，有些矿山的矿石炼出的铁很脆，而另一些矿山的矿石却熔出质地优良而柔韧的铁。这位年青的化学家检查了这些矿石的化学成分，很快就从瑞典塔贝尔山的磁铁矿里提出了一种特别的黑色粉末。

他在柏采利乌斯的指导下继续研究，证明了那种矿石里含有新元素，就是戴尔·利奥所说的那种元素——含在墨西哥产的褐色铅矿石里的那种金属。

萧夫斯特列姆成功以后，味勒怎么办呢?他在给这个年青的瑞典化学家的信里写道:“我真是糊涂透顶，眼睁睁地看着褐色铅矿石里的新元素，却让它跑了；柏齐利阿斯说得对，他看我那样懦弱，没能坚决地敲开女神凡娜吉斯的大门，他哪能不嘲笑和挖苦我两句呢。”

现在这个出奇的钒成了工业上最重要的金属之一。可是它在真正给人们掌握之前已经过了多少年啊!要知道，起初每千克钒值 5 万金卢布，而现在只值 10 卢布。1907 年一共才提炼出 3 吨，因为谁也用不着它，可是今天世界上有多少国家在拚命抢夺钒矿!钒的性质多么优异，各国多么需要它啊!1910 年开采出的钒就已经有 150 吨，那时候南美洲又发现了钒矿，1926 年开采的钒达到 2000 吨；现在每年的开采量在 5000 吨以上。

钒是制造汽车、铁甲、能打穿 40 厘米厚的优质钢板的穿甲炮弹等极重要的金属；钒是制造飞机部件的金属，某些精巧的



从输送带上出来的载重汽车和轻便汽车

化学工业、硫酸、多种鲜艳的染料，也要用到这种金属。

钒的主要的优点是什么呢?它羼在钢里，能增加钢的弹性，减少钢的脆性，使钢受到碰击和振动不至于再结晶；汽车和发动机不正需要这样性质的轴吗?因为轴总是在不断地振动。

而钒的盐类也有突出的优点，在颜色方面有绿的、红的、黑



铁甲舰，制造这种军舰需要用钒钢

的、黄的，有像青铜似的金黄色的，有像墨水似的黑色的。可以用它的盐类制造颜色鲜艳的整套颜料，这种颜料可以用来给瓷器上色，可以用在照相纸上，也可以用来制造特别的墨水。钒盐也能用来治病……

我们不打算把这种金属的出色的用途全部罗列出来，可是有一点应该提一提。钒是制造硫酸的帮手，而硫酸是全部化学工业的神经。制造硫酸的时候，钒非常“狡猾”：它只促进化学反应，正像化学家所说的起催化作用，它本身还是那个老样子，不参加反应。的确，有些物质会使钒中毒，破坏它的催化作用，但是这也有补救的办法。此外，金属钒以及钒的一些盐类，在制造某些极复杂的有机化合物的时候非有它们存在不可，它们在这里起的作用很神秘。

可是钒既然是那样奇妙的金属，为什么我们关于它知道得那样少呢?为什么你们里面有许多人竟从来没有听说过它呢?它在全世界上每年的总共开采量确实是少得很，大约是 5000 吨。要知道,这个数目是铁的年产量的 1/20 000,只是金的年产量的 5 倍。

显然，要发现它的矿床和开采它不是那么简单，要解答这个问题，我们就得问地质学家和地球化学家。下面就是他们讲的这个奇异的金属在地壳里的动态。

地球上的钒决不是那样稀少。据苏联的地球化学家估计，在能够开采得到的那部分地壳里平均含钒 0.02%，这个数目决不算少，因为铅在地壳里的含量不过是这个数目的 1/15，而银还只有这个数目的 1/ 2000。所以实际上，地壳里所有的钒等于锌和镍，而锌和镍的开采量不是每年有几十万吨吗?

不但在地球上，在我们能够开采得到的地壳里有钒，在铁集中的地方，大概也含有相当大量的钒。这一点是落到地球表面的陨石告诉我们的。钒在含铁的陨石里的分量，差不多是在地壳里的 2～3 倍。天文学家在太阳光谱里也看见有鲜明光辉的钒原子的光谱线，而地球化学家却正是为了这件事情伤透脑筋。到处都

有许多钒，宇宙里没有一处不分布着这个金属，可是钒聚集在一起的地方却不多，可以把钒轻而易举地开出来用到工业上去的地方却不多。实际上，差不多所有铁矿里都有钒，凡是含钒达到百分之零点几的地方，就可着手开采它。只要能从几千吨铁里提取到这个贵重的金属，已经很不错了。

如果化学家发现某种矿石含 1% 的钒，报纸就要登出来说，发现了储藏量丰富的钒矿。很清楚，有一种说不出的内在的化学力量在不断地分散着钒的原子。科学的任务就是要研究清楚究竟什么力量能把这种分散的钒原子聚集在一起，怎样才能打消它们旅行、分散和迁移的意图。这样的力量在自然界里确实是存在的，所以现在我们研究钒的矿床，就该读一读下面几段文字，讲到能够把钒原子聚集在一起的一些作用。

首先，钒是沙漠的金属。它很怕水，水很容易溶解它，把它的原子顺着地面冲散开；它还怕中纬度和北纬度地带的酸性土壤。只有南纬度地带才适合它安居，那里的空气里有许多氧气，并且有硫化物的矿脉在崩坏着。在南非的灼热的沙底下，在它的故乡——太阳底下的墨西哥，在龙舌兰和仙人掌丛里，它形成黄褐色像铁帽子似的东西，形成褐色的小山，像士兵的钢盔盖在硫矿的露头上。

我们发现古代科罗拉多沙漠里也有钒的化合物，在乌拉尔地区二叠纪的沙漠里也看见过它，这个沙漠的东部圈在雄伟的乌拉里达山脉里。凡是太阳晒得灼热的地方，凡是沙里都能生成钒的盐类，就能把分散的钒原子聚集起来形成有工业意义的矿床。尽管这样，钒的储藏量还是非常少；它的原子竭力想从人的手里溜出去；可是有一个更大的力量，能够抓住钒而不让它失散，那就是活物质的细胞，那就是有机体，那种有机体的血球不是由铁构成，而是由钒和铜构成的。

有些海生动物的躯体里有钒聚集，特别是海胆类、海鞘类和海参类；它们成群地浮在海湾里和海岸边，占好几千平方米的面



乌拉尔的钛磁铁矿，从这种矿石里提取钒

积 很难说，它们是从哪里搜集来的钒原子，因为海水本身从来没有发现过钒。显然，这些动物有某种特别的化学性质，能够从食物的碎屑、淤泥和海藻的残骸等等里面提出钒来。没有一种化学试剂的作用能像生物体那样灵敏和单纯，生物能够把几百万分之一克的钒逐渐地积累在躯体里，等它们死了以后就留下来大量遗产，使得人们可以从那里得到金属钒来供工业上应用。

但是不管生命的力量多大，真正的钒矿还是很少，钒的含量都是微乎其微的，从地沥青、沥青和石油里提取它又很困难。钒在地壳中聚集的路线实在神秘，我们的科学家还应该做很多工作，才能解开它聚集的谜，才能把它的历史连贯起来，把钒在地球上生活的各个环节连接成完整的一条链条。

我们不但要知道这个金属以往的命运，还要知道到哪儿去找它，怎样能找到它，要把深刻的理论上的结论变成工业上的伟大胜利。这样汽车轴里才能得到合用的金属，铁甲舰和坦克的装甲钢里才能提高含钒的百分率。工厂里靠钒催化剂促进了非常细微

的化学反应，就能制得千百种极复杂的新的有机化合物，这些有机物有的可以吃，有的在经济上和文化上十分有用。

这就是地球化学家关于钒矿的问题给我们的答复。我们对于这个答复还不甚满意，我们还要求坚持工作下去，去掌握住这个金属来供应国家的需要。

金——金属之王

人类老早就知道有金，很可能是因为看见河沙里有闪亮发黄的颗粒才注意的。

我们翻开人类在复杂的发展道路上使用黄金的历史，就会找出许多值得注意的、有教育意义的事情。从人类文明的摇篮时期起一直到帝国主义战争为止，许多次战争，侵占整个大陆，各民族之间的不休的争斗，犯罪和流血，——这一切都和金有连带关系。



亚哥船上的勇士在科尔希达(格鲁吉亚的古称)看金羊毛(一幅古代的木刻画)

在斯堪的纳维亚古事记的传说里，金子起着很大的作用。雾童族的斗争就是为把世界从金子的魔力和统治里解放出来的斗争。用莱茵河的沉金打的戒指，象征着罪恶的开端。西格弗里德为了使世界摆脱金子的统治，为了打倒天国诸神，甚至牺

牲了自己的生命[1]。

古希腊的叙事诗里有一段传说，记载亚哥船上的勇士到科尔希达去找金羊毛的故事。他们来到黑海沿岸(现在的格鲁吉亚)采集羊毛，这里的羊皮上盖着一层金沙，他们从龙的手里把羊皮夺过来。

在古希腊的神话和古埃及的文献里，能找到地中海上为争夺黄金而引起战争的记载。所罗门王建造著名的耶路撒冷寺院的时候，为了得到大量黄金，曾经好几次出征俄斐古国。历史学家为了考证这个国家究竟在哪里，费了不少力气也没有研究出来，忽而说它在尼罗河发源地，忽而又说是在埃塞俄比亚。有些学者认为，“俄斐”这个字就是“财富”和“黄金”的意思。



金的梳子，上面装饰着西蒂亚人和希腊人作战的雕像。公元前5世纪到前4世纪末的古物，乌克兰库尔干·索洛哈地方出土，现在保藏在列宁格勒冬宫里的博物馆里

以前流传着蚂蚁采金的传说。各种各样的研究家解释过这个传说，却各有各的说法。

这个传说的根据是这样一个故事，传说印度有一族人住在沙漠里，那里有一种蚂蚁，有狐狸大小。这种蚂蚁从地下深处搬出大量的金子和沙，当地居民时常骑着

[1] 这里讲的传说见德国歌剧家瓦格纳写的《雾童族的戒指》这部歌剧。雾童族是神话里的古代民族，相传这个民族灭亡的时候把金子和一切宝藏都沉在莱茵河底。《雾童族的戒指》这部歌剧就是用莱茵河的沉金打的戒子做线索，歌剧里描写的一切罪恶都是由这个戒指引起的。西格弗里德是歌剧里的主角，天国诸神代表黑暗世界的统治者，歌剧里描写了西格弗里德为了拯救世界不受金子的统治而打倒天国诸神，后来被爱金子的统治者所暗杀。——译者注

骆驼来取黄金。希罗多德证实了这件事情；斯特累波在纪元前25年的著作里也有类似的记载。普林尼的看法略有不同，但是无论如何，欧洲的作家也好，阿拉伯的作家也好，他们还在中世纪就没有一次说出这个故事的真实情况。迄今，对于这个传说还没有真正的解释；最可能的解释是说梵文里“蚂蚁”和“金粒”这两个词完全同音。显然是因为“金粒”和“蚂蚁”同音，所以才产生了这个传说。

俄罗斯南部西蒂亚时代的古物里有精美的金制品。那是不知名的西蒂亚珠宝工人的精心杰作，他们最喜欢雕刻狂奔着的野兽。现在这些东西都保存在列宁格勒冬宫里的艾尔密泰日博物馆里，与有名的西伯利亚古物当中同样精致的金制品陈列在一起。

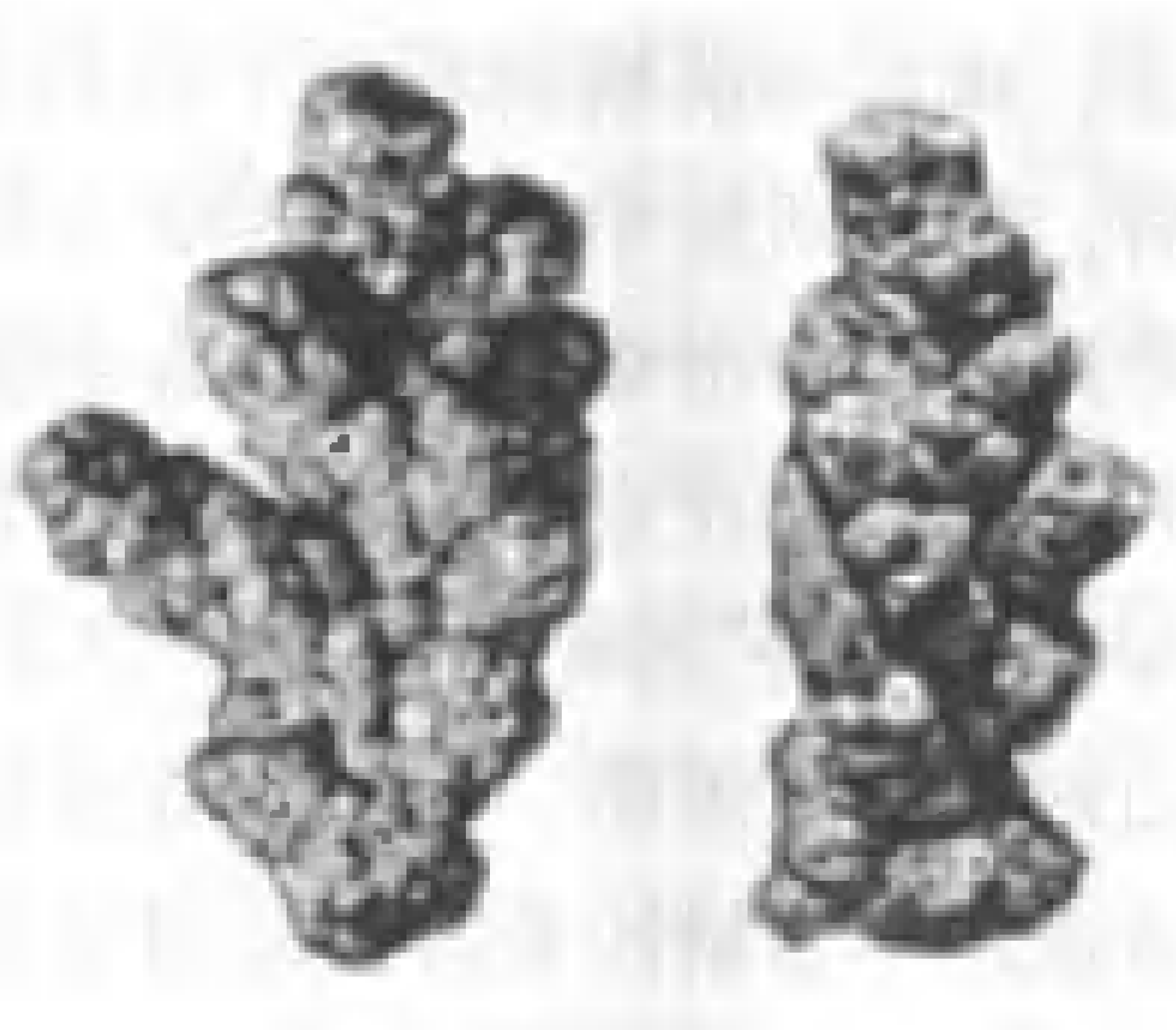
金在古代人的概念里占着很重要的地位。炼金术士用太阳的记号来代表金。那时候在斯拉夫文、德文、芬兰文里，金这个字的字根都有Г、З、О、Л 4个字母，在印度文和伊朗文里，这个字的字根有А、У、Р 3个字母，因此拉丁文的金字是“Aurum”，这就是现在金的化学符号Au的来源。

语言学专家做了许多研究，为的是弄清楚金的名称和确定其字根。他们研究的目的是想找出根源，研究清楚古代世界上什么地方有金。有趣的是，埃及象形文字里“金”这个字就像一块头巾、一个口袋或是一个木槽，这显然使人想到淘沙取金的方法。


古代的淘金法(一幅古代的木刻画)

金有不同的色泽和品质。埃及的金的来源是沙，古埃及有许多记载都详细地说明沙金的位置。埃及西北部有许多地方产金，在红海沿岸，在尼罗河流域古代花岗岩崩毁下来的

砂里，特别是在柯塞尔地区也有金。古代文献里标着许多产金的地点。阿拉伯沙漠和努比亚沙漠都有古代产金的矿坑。纪元前二三千年的时候就已经有许多金矿了。



肾脏形的金块，乌拉尔南部加赤卡尔所产

在比较后期的记载里，许多著作家对于金矿都有很好的叙述。有些文献还提到金和闪亮的白色岩石在一起，那显然是石英矿脉了，有些古代的著作家不认识石英矿脉，误认它为大理石一类的东西。那时候已经知道金子的价值和开采方法等等。

15 世纪发现了美洲，这在金的历史上是新的一页。西班牙人从美洲运来大量黄金，都是用武力掠夺来的，于是金潮泛滥了欧洲。

18 世纪初期(1719 年起)，巴西的沙地发现丰富的沙金。到处都开始了“黄金热潮”，别的国家也勘探起金矿来。18 世纪中叶，俄国叶卡德琳堡(现在的斯维尔德洛夫斯克)附近的石英矿里初次发现了金的晶体。100 年以后，1848 年，美国有一个重大发现：在遥远的西方——落基山脉再往西，几乎到了太平洋沿岸，有一个约翰·苏特在当时还没有开发的加利福尼亚发现了金矿，然而后来苏特竟因为贫穷死去了。



像金属丝那样的结晶的金，样子有钩形和螺旋形

探金家都奔往加利福尼亚

去，成群结队地套着牛车到西方去寻求新的幸运。不到50年以后，阿拉斯加半岛的克朗戴克也发现了金矿，这块地方是帝俄政府用便宜得出奇的价格卖给美国的。我们从杰克·伦敦的小说里知道，人们在克朗戴克地方为了寻找黄金费了多大力气。现在还保存着一些“黑蛇”的照片，人们越过雪山的山顶和北极的空旷的山地开拓出道路，在那些道路上是川流不息的人流，他们肩上扛着或用小雪橇拉着各自的用具，满怀着从山上带回黄金来的希望。

1887年在南非的德兰士瓦第一次发现了沙金。虽然这个富源是布尔人[1]发现的，但是它并没有给他们带来幸福。经过了长年的流血战争以后，英国人终于占领了这块地方，并且几乎杀光了爱好自由的布尔人。现在德兰士瓦的产金量占全世界产金量的一半还多。此外澳大利亚也产金。

俄国得到黄金的历史非常特别。1745年，有一个农民叫马



德兰士瓦金石英的初次开采

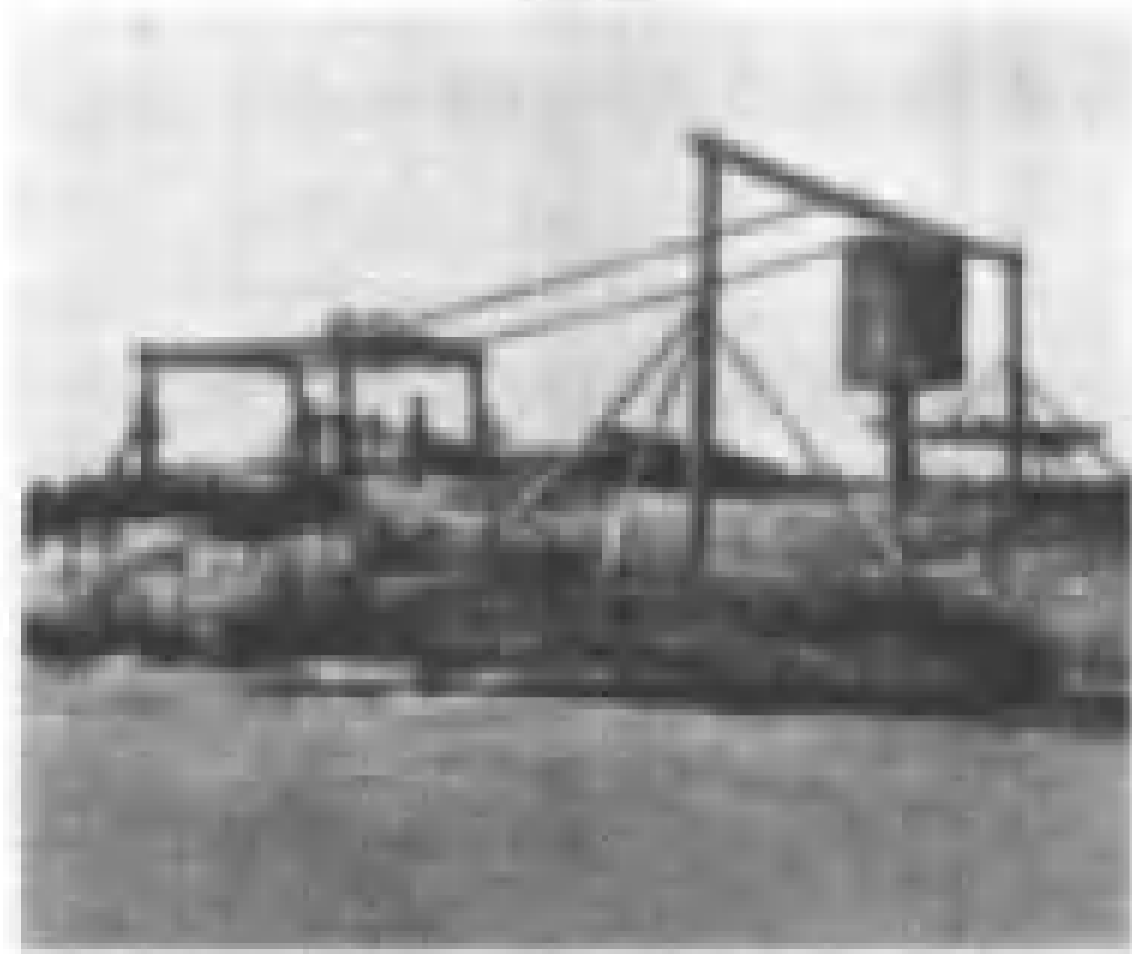
[1] 布尔人是移往南非洲的荷兰人。——译者注

尔科夫，发现乌拉尔的叶卡德琳堡附近沿着别廖佐夫卡河一带有金矿。1814年，采矿工长布鲁斯尼岑初次在乌拉尔发现了沙金，他给沙金安排了工业上的用途。所以乌拉尔是俄国金工业的摇篮。19世纪后半期，西伯利亚的勒拿河也发现了沙金，这个消息立刻传了出去。那是一个惊人的富源，各地冒险家就都往那里跑。有些人设立了路标和发卖说明书，有些人在艰苦的西伯利亚大密林里淘金，发了大财回家，也有一部分人淘到了黄金，可是就在当地挥霍掉了，而大多数人都因为天气不好又患坏血病而死去了。

20世纪20年代初期，在著名的阿尔丹河一带又发现了更大的富源。

我有一次遇见一位淘金工人，他从发现阿尔丹河金矿的头几年起就在那里工作。他告诉我从前阿尔丹的情形，他说白军里有许多冒险家蜂拥到金矿去，这些人抛弃了一切，为的是到阿尔丹河上游去淘金发财。他说有一个牧师抛下了所有的信徒，千辛万苦地跑到阿尔丹河上游，乘着筏子一直深入到不容易到达的地方，在那里淘到了25普特[1]黄金。他又讲到后来怎样在阿尔丹建立了苏维埃政权，从此金矿也就成了苏联铸造货币的车间。以后又发现了许多别的储藏量丰富的金矿。

人类寻找黄金的历史就是这样逐渐展开的。现在已经开采出来的黄金在50 000吨以上，差不多有一半存在银行里，银行存储的金子价值超过10^{10}金卢布。技术上的成就使金的产量越来越多，不但含金量多的富矿可以开采，连含金量不多的贫矿也可以开采了。



用马拉绞盘开采沙金——俄国在革命前一般采用这种方法

[1] 普特为俄制单位，1普特约等于16.38千克。——编辑注



用水力冲洗机的强大水注冲洗沙金

探金的方法起初是用简单的手工业方式，用勺子和盆冲洗，后来改用“美国槽”[1]冲洗，发现加利福尼亚金矿以后，这种“美国槽”就在全世界通用了。

后来改用水力法淘金，就是用强力的水柱冲洗，然后让细小的金屑溶解在氰化物的溶液里；最后又研究出从坚硬的岩石里取金的方法，在大的选矿厂里就应用这种最完善的方法从岩石里取得金子。

人们千方百计地积存黄金，把它锁起来，存在国家银行的牢固的保险库里，而运输黄金的船都用军舰护送。现在用黄金做成货币来流通也已经取消了，因为它太容易磨损了。

人类在过去几千年来采得的金，还不到地壳里含金量的 $1/10^6$。可是人们为什么把金当做偶像来供奉，把它看成主要的财富呢?毫无疑问，金有许多优良的特性。金是“贵金属”，就是说它的表面不起变化，能够保持光泽，不溶解在普通的化学药剂里。只有游离态的卤素，譬如氯气，或是由 3 份盐酸和 1 份硝酸混合而成的王水，还有少数有毒而不常见的氰酸盐,才能溶解金。

金的密度特别大。它和铂族金属都是地壳上最重的元素，它的密度大到 19.3 克/厘米^3。要它熔化还不算难，只要热到比 1000 摄氏度再高一点的温度就可以，可是它很不容易气化。要使金沸腾，得加热到 2600 摄氏度。金非常柔软,容易煅打,它的硬度不比最软的矿物的硬度高,用指甲能在纯金上划出痕迹来。

化学家能够非常精确地测出金来。在 10^9 个别种金属的原子

[1] “美国槽”是一种窄长的木槽，一头有一道槛会截住金子。——编者注



在大桶里用氰化法溶金

里只要有 1 个金原子，化学家都能够在实验室里找到它(也就是测定到 1×10^{-10} 克)。这样微量的物质在现代的技术条件下是不能用任何天平称量得出来的。

金在地壳里的含量不算少，可是它是分散着的；现在据化学家计算，地壳里金的平均含量大约是地壳的 $5/10^{10}$。要知



用电操纵的采金机在金矿坑里工作，采掘的深度达到 25 米



挖掘机挖掘沙金

道，银不是比金贱得多吗?可是地壳里银的含量才比金多1倍!金在自然界里随处都有，这件事情很值得注意。太阳周围灼热的蒸气里有金，陨石里也有金(当然比地球上的少)，海水里也有金。据最近的精确实验，海水里含金$5/10^9$，也就是每1立方公里的海水含金5吨。

金藏在花岗岩里，聚集在熔化的花岗岩岩浆的最后一部分里，钻进灼热的石英矿脉里，在那里和硫化物，特别是和铁、砷、锌、铅、银的硫化物，在比较低的温度——大约是150～200摄氏度下一齐结晶出来。这样就生成大堆的金。等到花岗岩和石英矿脉一崩坏，金就变成沙金，因为它很坚固，密度又大，所以它聚集在沙的下层。在地层里循环的水溶液对于金几乎是不起什么化学作用的。

地质学家和地球化学家费了许多时间和精力才研究清楚金在地球表面上的命运。精确的研究告诉我们，它在地球上是漂泊不定的。

金不但由于机械作用被磨成极细极细的颗粒，然后被河流大

量冲走，金还能部分地溶解在水里，特别是南方河流里含氯很多的水里，以后金重新结晶，或是跑进植物机体里，或是落到土壤里去。根据实验知道，树根会把金吸收到木质纤维里。几年以前科学家证明，玉蜀黍粒里含有相当大量的金。有几种煤的灰里含金更多，1 吨煤灰里含的金能多到 1 克。

可见金在被人提取出来以前，在地壳里经历过非常复杂的道路。尽管人类为了开采黄金而费了 2000 年以上的思考，尽管有些炼金厂的规模非常宏大，可是我们对于这种金属的历史，对于它的全部历史并不完全清楚。我们对于分散着的黄金的命运知道得太少，我们只知道黄金的旅行史上的个别环节，还不能把这些环节连成整条的一条链条。巨大的山脉和花岗岩的断崖受水侵蚀，金随着水流进海洋，后来又怎么样呢?彼尔姆海在乌拉尔沿岸堆积了丰富的盐、石灰石和沥青的沉积物，可是海里的金消失在什么地方了呢?

地球化学家和地质学家，还有许许多多工作在等着你们呢。西伯利亚产金地区的面积有好几百万平方公里，那里正是你们的大胆的科学思想的用武之地!

可是将来金再也不会存在银行里，再也不会被经纪人和资本家拿到交易所去做投机生意，将来它有新的用途，它广泛地应用在科学研究上，应用在工业的精制品方面，应用在电工和无线电技术方面，——任何部门，凡是需要导电度大、能够抵抗一切化学作用而本身不起变化的金属，就要用到金。所以金一定会从仓库和保险柜里转到工厂和实验室里去，当做稳定不变的金属使用!

稀有的分散元素

地壳是由好几十种化学元素组成的。里面只有 15 种是比较

普通和常见的：差不多每一种岩石里都能找到这几种元素，其余的元素就都比较少见了。

这些比较稀少的元素，有的大量地聚集在一起，在矿层里生成矿石；有的像金、铂等在地壳里的含量非常少，而且形成极小的、勉强看得出来的天然的金属小粒，只有极少的地方生成比较大的天然金属块。

但是不论它们多么稀少，它们还是独立的矿物，哪怕颗粒很小，小到连肉眼都看不见，它们还是生成自己的矿物。可是也有一部分化学元素，它们不但在地壳里的含量少，而且不生成自己的矿物。这些元素的化合物溶解在另外一些比较普通的矿物里，就好像盐或糖溶解在水里的时候，我们从外表上看不出来它是纯水还是水里溶解着什么东西。

矿物也就是这样，并不是总能够从外表看出来它里面溶解着哪些杂质的。如果说水只要尝尝它的味道就能说出它是淡的、咸的或是甜的，那么想把矿物进行化学分析就要复杂得多，而如果



在一个现代化的实验室里，使溶液经过许多次结晶来析出稀土元素

想把隐藏在别的矿物里的那些元素提出来，那就更复杂了。

这些化学元素经历了复杂而漫长的旅程，它们通过熔化的岩浆，通过水溶液，在岩石里或矿脉里生成坚硬的矿物，生成最稳定的化合物。在这段很长的旅途上，它们起过各式各样的变化。只有彼此特别亲近的元素，才能一起通过这条道路。

任何两种元素，它们的化学性质越接近，就越难找到一种化学反应来把它们俩分开。还有些稀有元素，并不生成纯态的矿物，有时候溶解、分散在别的元素的许多种矿物里，所以我们把它们叫做分散元素。

这究竟是些什么元素呢?在日常生活上，甚至在学校的化学课本里我们都没有听说过，可是随着工业技术的发达，这些元素也就越来越进到我们生活的范围里来了。

这些元素是：镓、铟、铊、镉、锗、硒、碲、铼、铷、铯、镭、钪、铪。这里提到的元素都是最有代表性的，如果愿意的话，当然还可以多举些。

让我们想一想，自然界里什么地方有这些稀有的分散元素呢?它们是怎样分散着的呢?人们怎样从别的矿物里发现了它们?它们又有什么用处呢?

现在我们面前有一块黄褐色的矿物，它的断口常常十分平滑光亮。这种矿物相当重，看去不像矿石，可又确实是矿石。这种矿物叫做闪锌矿。

闪锌矿的成分很简单：每一个锌原子配搭一个硫原子。但这只是主要成分。说闪锌矿的成分简单，只是看去是这样罢了。如果我们这块样品是黄褐色的，同是这种矿石的别块样品就可能是褐色的、暗褐色的、黑褐色的，甚至是纯黑色的，而且纯黑色的闪锌矿已经有真正的金属光泽。

这到底是怎么回事呢?

原来闪锌矿所以发暗，是因为里面溶有硫化铁的杂质；不含铁的闪锌矿几乎没有颜色，或者是黄绿色和淡黄色。含铁越多，

它的颜色就越深。这就是说，这种矿物的颜色是它含铁量的可靠标志。用 X 射线研究闪锌矿的内部结构，就能知道锌原子和硫原子的排列状态，每个锌原子都被 4 个硫原子包围着，而每个硫原子也被 4 个锌原子包围着。

如果个别锌原子的地方换成了铁原子，闪锌矿的颜色就深起来，同时铁原子也排列得十分均匀：或是每 100 个锌原子有 1 个铁原子，或者每 50 个、30 个、20 个、10 个……这位好客的主人——锌——遇见铁就问："你住在我的屋子里不太挤吗?"虽然铁在自然界里比锌多得多，可是它在闪锌矿里只能占到一定的限度，科学家把这种特性叫做有限的可混性。

关于这个例子可以再举一个有趣的比喻，譬如有一个空的狐狸穴，不论老鼠或是熊都不能利用它来藏身——熊到冬天需要一个比较宽的洞；只有大小和狐狸差不多的野兽才能利用这个狐狸穴；闪锌矿的情形也是这样，只有和锌原子差不多大小的别种元素的原子才能占据锌原子的地位。

闪锌矿里还含有镉、镓、铟、铊、锗……锌显然是一个非常好客的主人。不但锌这样，硫也是这样，不过程度上不及锌，它对于硒和碲这两个稀有的分散元素也是很殷勤的。



含氧化钍的煤气灯罩

你们看，闪锌矿的成分比我们乍一看的时候复杂得多。黝铜矿、黄铜矿和许多别的矿物也大致是这种情形。

但是地球化学家又发现另外几条补充的规律：原来含铁丰富的黑色闪锌矿里几乎都不含镉，可是含铟很多，有的时候含锗也很多，还有镓主要含在浅褐色的闪锌矿里，镉主要含在蜜黄色的闪锌矿里。

暗黑色的几种闪锌矿里含硒和碲比较多。你们知道，化学元素彼此间的交

情并不一样，所以不同的条件和不同的邻居决定着什么样的“旅客”可以在锌的地方借住……

要找到稀有的分散元素，这件事情并不简单，要用特别的方法。哪怕它们的含量极少极少，也值得把它们找出来，因为它们的价值很大。除了用普通化学分析的最完备的方法和最灵敏的反应以外，还可以用光谱分析和X射线的化学分析。

平常不必经过复杂的化学分析就能很容易地说出某种矿物里含有什么别的元素多少分量。闪锌矿里铟的含量只要到0.1%，它就已经不算是锌的矿石而算是铟的矿石了，因为铟的含量虽然不高，可是这一点铟的价值却比所有的锌都大……

稀有的分散元素为什么值得这样注意呢?它们为什么这样重要呢?它们的价值为什么那样高呢?主要是因为它们有独特的用途。这些元素本身或者用它们的化合物制得的产品，都有这种特点。

例如，氧化钍一烧热就发出闪亮夺目的光辉，所以煤气灯罩要用它。

用铷和铯造的镜子很容易放出电子，是制造光电管缺少不了的材料。

刚才讲过，闪锌矿里含有几种稀有金属，那么我们来追究一下，什么地方用得上这些金属和它们的化合物呢，怎样用呢?

镉——浅灰色的金属，比较柔软，容易熔化，熔点是321摄氏度。用1份镉、1份锡、2份铅、4份铋(这4种金属的熔点都在200摄氏度以上)就能制得著名的武德合金，这种合金的熔点只有70摄氏度。

你们想想吧!假如用这种合金来造茶匙，用它取糖放进盛着滚烫的热茶的杯子里去搅，它就在滚烫的热茶里熔化了……在杯底上茶的下面有一层熔化的金属!如果把这4种金属按照另一种比例配合，就能制得里波维兹合金，它的熔点只有55摄氏度!要知道，用手去摸这种熔化的合金甚至不会觉得烫。

许多工业部门都要用到容易熔化的金属。有一种金属，只要拿在手里就会熔化，而且这是一种纯金属，并不是合金。那就是镓，它也是一种稀有的分散元素，它和另外几种分散元素都含在闪锌矿里(除此外,云母、粘土和另一些矿物也含镓)。

镓的熔点只有 30 摄氏度，它是只次于汞(汞的熔点是零下 39 摄氏度)的最容易熔化的金属，所以它可以很胜任地代替汞的工作。大家都知道，汞的蒸气剧毒，然而镓没有毒。镓也和汞一样，可以用来制造温度计。用汞造的温度计平常只能测量从负 40 摄氏度到 360 摄氏度，到 360 摄氏度汞已经沸腾了。而用镓造的温度计却能从 30 摄氏度测量到玻璃变软的温度，就是 700～900 摄氏度，如果温度计的玻璃管是用石英玻璃造的，就能一直测量到 1500 摄氏度，因为镓要到 2300 摄氏度才沸腾。

如果用特制的耐火玻璃来做这种温度计的玻璃管，那就可以测量火焰的温度，或者测量许多种金属在熔化状态下的温度。

顺便说一说，镓还有一个有趣的特性：正像水比冰重，冰能漂在水面上的情形一样，固体的金属镓也比熔化了的镓轻，所以固态的镓能漂在液态的镓上。

铋、石蜡、铸铁也有这种少见的特性。其余一切物质都和镓相反：固体沉在它自己的液体底下。

现在回过来说镉。这个金属除去制造有价值的容易熔化的合金以外，电车方面也需要它。

你们看见过老式电车弓子吗?它时刻不停地和电线摩擦，造成了多么深的一条沟!同时电线和电车弓子老是磨在一起，也就磨坏了。

可是电线只要添上 1% 的镉，就可以大大减低它磨损的速度。电车方面还用镉制造信号灯用的有色玻璃。玻璃里加进硫化镉，就显美丽的黄色；加入硒化镉，就显红色。

拿用途来说，铟也很重要，不在镉以下。

大家知道，海水里有盐，含铜的合金受海水的作用以后，损

坏得很快很利害。可又不那么容易找出化学性质更稳定的物质来做它的代用品，来代替它制造潜水艇和水上飞机。后来发现，只要这种合金里有极少量的铟，就会大大提高它的稳定性，能够抵抗海水的化学作用。

银里添进去金属铟，能使银的光泽显著增加，也就是加强了银的反射能力。制造探照灯的反射镜的时候就利用这点性质：反射镜里有了铟，就会显著加强探照灯的光。

稀有分散元素硒有几点意想不到的特性，它是硫的近亲，含硫的矿石里常常含有少量的硒。

硒的导电度能随着对它照射的光线的强度不同而显著改变。电报传真和无线电传真就是利用硒的这种性质。根据这种性质还造出了许多种自动控制器，来记录输送带上输送的零件是明亮的还是暗黑的。最后，只有用硒才能精确地测量出光线照明的程度。



牛蹄受硒的作用而腐蚀，长在肮脏的土壤里的草含硒

硒的另一个重要用途是制



工厂里的提炼硒的部分

造纯净无色的玻璃。普通玻璃是用石英砂、石灰和碱或硫酸钠造的。石英砂越纯越好，特别是不要含铁，因为铁会使玻璃发浅绿色，譬如造瓶子的玻璃就是那样。

玻璃里只要有极微量的一点铁，就会显出绿的色彩。窗玻璃需要纯净无色的玻璃；眼镜要用质地更好的玻璃，光学仪器像显微镜和望远镜更要用挑不出一点毛病的玻璃。如果在熔化的玻璃里加进去一点亚硒酸钠，硒就和铁化合而从熔化的玻璃里析出，这样就制得很好的无色玻璃。

制造专门的光学仪器，制造看得很远很清楚的望远镜、照相机，都需要有另外一些特性的玻璃。要玻璃有这些特性，只要加少量的二氧化锗就行。

锗也是一种稀有的分散元素，像硒那样，在几种闪锌矿里也含有微量锗。有几种煤里也有锗。

以上介绍的是几种稀有的分散元素在矿物和矿石里的动态。现在我们认识了这些不平凡的金属的几点特性和它们的独特用途；我们知道了它们在实用上是多么重要，也就明白了为什么地球化学家非常注意研究稀有的分散元素了。



3 自然界里的原子史

陨石——宇宙使者

没有月亮的黑夜。晚霞射出来的最后一点回光已消失殆尽。天穹大得没有尽头，星星在这个天穹里燃亮起来，它们闪烁不定，放出各种颜色的光。村子里的各种声音也渐渐地静下去了。周围的一切仿佛都冻结在寂静的黑夜里，只有树上的细枝摇荡着叶子，发着勉强听得到的一点响声……

突然一道颤动的亮光照明了周围的一切。一个火球飞快地划破了天空，向四下散射出来许多火星，火球经过的地方留下了微微发亮的、烟雾般的痕迹。火球不等飞到地平线上就熄灭了，火球的熄灭跟它出现的情形一样，也是一刹那间的事情，接着一切就又都落在昏黑的夜里。但是，没有几分钟的功夫，天空发出了断断续续的响声，听着像是爆炸，又像重炮轰击的声音。然后是一声轰响和劈裂声，隆隆的声音连续响了半天才沉寂下去。



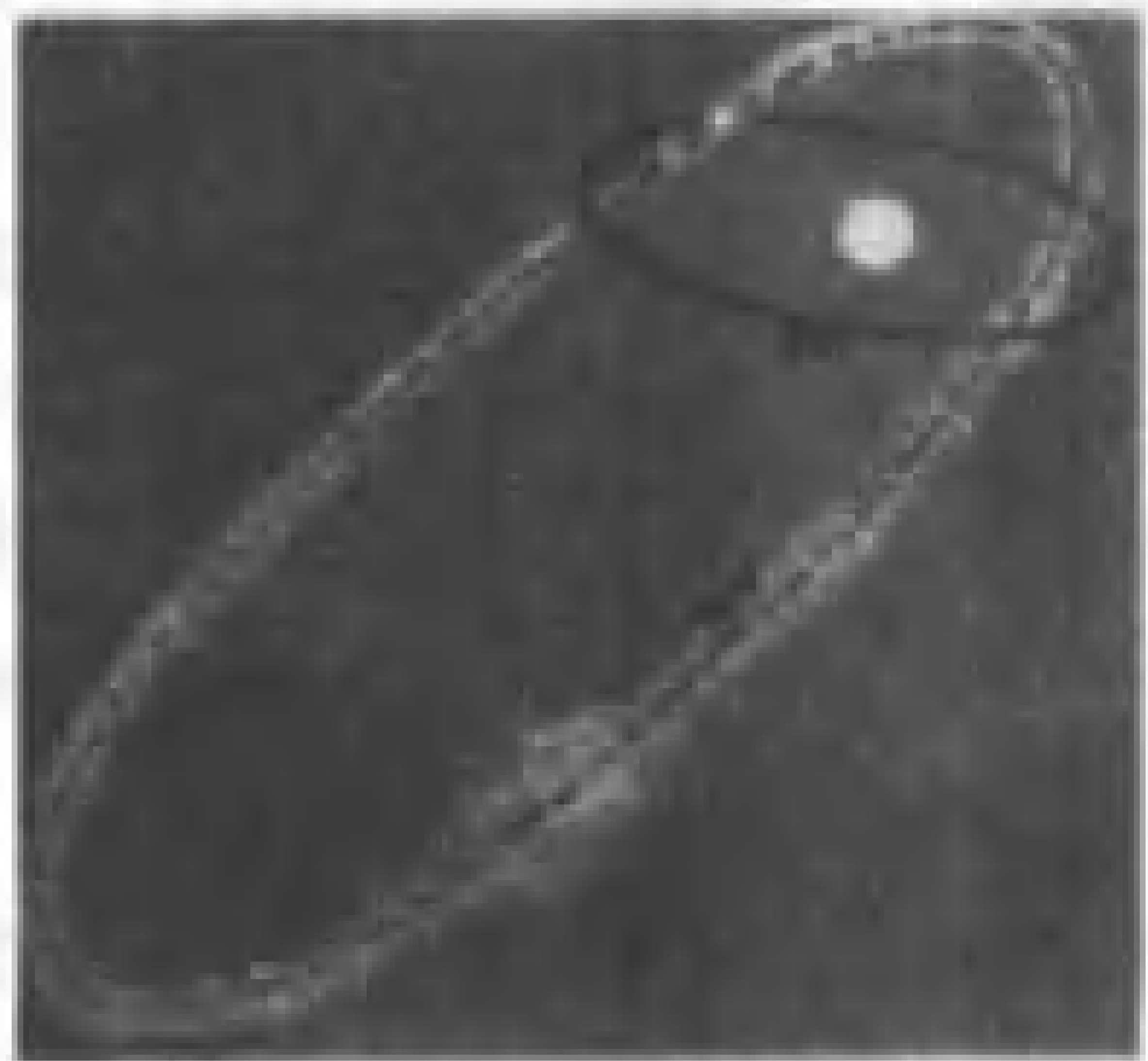
一个火流星飞快地划破了天空

青年读者们，我相信你们里面一定有人看见过上面描述的现象。然而这是怎么回事呢？火球是什么东西，是从哪里来的呢？

在行星际空间里，除了水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星这9个大的行星[1]外，绕着太阳

[1] 这些行星是按照它们跟太阳距离的远近(从近到远)来排列的。——编者注

旋转的还有许多小的行星，就叫做小行星。现在已经知道的小行星有1500个以上，当中最大的一个叫做谷神星，直径是770公里，最小的一个叫做阿多尼斯，直径只有1公里。毫无疑问，还有许多更小的小行星。这些小行星的直径小得只有几米甚至几厘米。实际上与其说它们是行星，不如说是石头的碎屑和小颗粒，它们有些小得可以放在手掌上。这还算什么行星呢?即使用最好的望远镜也看不见它们。它们就叫做流星体，它们没有一个是有规则的球状，而是一些碎屑。



流星群和地球的轨道

比较大的小行星，大部分都在火星轨道和木星轨道之间各自顺着一定的轨道围绕太阳旋转。这些小行星在这里合起来形成所谓小行星“带”。至于比较小的小行星，也就是流星体，它们的大部分轨道都在小行星带以外。它们的轨道跟大行星的轨道交叉着，也跟我们地球的轨道交叉着。地球和流星体在各自的轨道上绕着太阳旋转的时候，可能在同一个时间转到这些轨道的交点上。这时候流星体就会飞到地球的大气圈里来，我们就会看见天空里出现一个火球，这火球叫做火流星。

流星体在飞进大气圈的时候，可能迎着地球在行星际空间转动。在这种情况下，流星体的飞行速度可能非常高，可能达到70公里每秒或者更多。而如果流星体和地球朝着相同的方向转动，也就是说，流星体“追逐”着地球或者被地球“追逐”着，那么流星体飞行的初速度大约是11公里每秒。这样的最低速度在我们看来也已经是很高了；它比炮弹或者枪弹飞射出去的速度高好几倍。

由于流星体的速度非常高——达到了所谓宇宙速度，所以它

飞进大气圈以后就遇到了极大的空气阻力。我们知道，离地面100～120公里高的地方的大气非常稀薄，然而即使在这个地方，由于流星体的飞行速度极高，它所遇到的阻力还是极大，它的表面能够热到摄氏几千度，而且开始发光。同时，流星体周围的空气也热得发红。就在这个时候，我们看到天空里出现一个飞奔着的火球——火流星。所谓火球就是流星体外围的那层红热的气体壳。空气迎着流星体流动，就会使流星体表面上不断熔化着的物质剥落下去，使这些物质散落开来变成微小的点滴。然后，这些点滴凝成了球状的固体，在流星飞过的地方形成烟雾般的痕迹。

在离地面50～60公里高的上空，大气已经稠密到足够传播声波；流星体到了这里，它的周围就产生所谓冲击波。冲击波是在流星体前面的一层稠密的空气。冲击波到了地面就发生撞击，发出种种响声，这些响声通常在火流星消失以后几分钟可以听到。

流星体继续朝着越来越稠密的下层大气一直钻下去，而离开地面越近，空气的阻力也就增大得越快。流星体的飞行因此受到了阻碍，它在离地面10～20公里的高空就失去原来的宇宙速度。流星体仿佛给空气"束缚住"了。流星体在飞行路上的这一段叫做"滞留区"。一到这里，流星体就不再发热，不再受到破坏了。如果这时候它还没有完全给毁掉，那么它表面上熔化了的薄层很快就会冷却，接着就凝成硬壳。流星体周围红热的气体壳也消失了。这时候在天空里飞行的火流星也不见了。而流星体的残体，表面上有一层熔化过的



掉在瑞士的一块陨石(15世纪古画)

壳，过了滞留区以后就受到地心引力的作用，差不多垂直地掉到地面上来。这样掉下来的流星体块就叫做陨石。


火流星飞过的痕迹成“3”字形。这是1948年9月27日观察的时候照的相片

最亮的火流星即使在白天烈日下面也能看到。火流星飞过的地方留下来的烟雾般的条带的痕迹可以看得特别清楚。这种痕迹往往可以保留好几分钟，甚至一个多小时。

火流星的痕迹本来是直的，但是在大气上层强烈气流的作用下，会逐渐变得弯曲。这种痕迹真像神话里所说的巨龙，它先在天空里伸展着，以后分成几段，最后消失不见了。

民间传说着的关于火龙的飞行和山龙的神话，正是从火流星和它留下的痕迹产生出来的。

明亮的火流星出现得非常少。但是流星，或者所谓陨星，我


美国亚利桑那州发现的陨石坑，口径长1200米，深约180米



1938 年 9 月 29 日掉下来的陨石。它打穿了汽车库的屋顶和汽车顶，掉在汽车里的座位上。质量为 1814 克

们的读者里面恐怕有许多人都看见过。

质量不到 1 克的极小的流星体，在从行星际空间飞进大气圈的时候，就形成流星。这些流星体的颗粒到了大气圈里就完全给毁掉，到地面上已见不到大颗粒了。

陨石是宇宙使者，它是从行星际空间到我们的地面上来的，现在我们就来详细地认识一下陨石吧。

在莫斯科的苏联科学院矿物博物馆里陈列着苏联国内最大的一套陨石，也是全世界最好的一套陨石。这些陨石里面有好多种是很少见的，或者是有某一些特性的。

这个博物馆里有一间光线充足的大厅，里面有许多陈列橱都摆着奇异的石头标本，这些石头当中有许多种都是本书讲到的。这些石头有各种各样的颜色，而且有些色泽非常鲜艳，叫人看了觉得非常惊讶。但是，除了这些引人注目的石头以外，另有几个特别的陈列橱里摆着一些单调的灰色的、褐色的和黑色的石头，

又有几块局部生了锈的铁。这些不好看的陈列品是什么东西呢？你知道这就是陨石。它们在行星际空间旅行了 10^{12} 年，最后碰到了地球，就停住不动了。

陨石是我们可以拿来放在我们的实验室里直接用现代复杂的分析方法和仪器来进行研究的惟一的地球以外的物质[1]。我们可以把陨石拿在手里，可以分析它们的化学成分和矿物成分，研究它们的复杂结构和物理性质。它们就这样告诉我们宇宙和天体演化史上许多奇妙的篇章，会告诉我们在地球的范围以外发生着的许多有趣的和奇怪的现象。到现在为止还有许多隐藏在陨石里的事情没有被发现，陨石的某些重要的特征也还没有得到最后肯定的解释。但是，由于我们不断地对陨石进行深入的研究，我们对陨石的认识正在一年比一年扩大，对陨石的知识正在一年比一年充实。

现在研究陨石的科学家的首要任务，就是阐明陨石的生成条件和它生成以后的情况。

陨石有铁陨石、石陨石和铁石陨石 3 种。铁陨石的成分是铁和镍的合金。在掉下来的陨石里面，铁陨石比石陨石少得多。平均每掉下来 16 块石陨石才掉下来 1 块铁陨石。铁石陨石掉下来的更少。



石陨石“库兹涅佐沃”，质量为 2.5 千克。1932 年 5 月 26 日掉在诺沃西比尔斯克省

看，这是一块形状不规则的黑色碎块。这块石陨石叫做

[1] 应该说不是“惟一的”，现在已经知道宇宙尘颗粒虽小，也是来自地球之外的。——审读者注

"库兹涅佐沃"[1],是在1932年5月26日掉在西伯利亚西部的;它的质量是2.5千克多一点,表面上到处都有一层熔化过的黑壳。黑壳的面上只有一小块地方已经剥落,可以在这里看到陨石内部的灰色物质。

单看外表,这块石陨石跟地球上的各种石头没有什么两样,但是仔细看看它的断面,就会看到无数细小的闪亮的东西分散在陨石内部。这些东西是含镍的铁(铁和镍的合金)。这种合金当中又夹杂着一种类似青铜色那样黄色的东西在闪亮着,这是叫做陨硫铁的矿物,是铁和硫的化合物。除了陨硫铁以外,还含着颜色比较浅的另一种矿物,是铁和磷的化合物,叫做磷铁镍矿。

看了这块石陨石的断面就能知道,它表面上熔化过的这层壳非常薄,厚度不超过1/10毫米。引人注意的是,这块石陨石的表面上有许多特别的凹坑洼:有圆的,有椭圆的,都像手指印那样。流星体用宇宙速度在大气圈里飞行的时候,一阵阵炽热的气流对陨石发生了作用,结果陨石的表面上就出现了凹坑洼。熔化过的壳和凹坑洼都是陨石的主要特征。

看,这是另一块石陨石。它有一半已经砸掉,从它的断面上可以看出来,它的内部的物质也是黑的,跟它表面上熔化过的壳一样。它的名字是"老博里斯金",是一种所谓碳质球粒陨石,是1930年4月20日在契卡洛夫省掉下来的。

这块陨石的旁边是另一块石陨石:里里(断面)外外(熔化过的壳)几乎全是白的。这块白的陨石叫做"老彼沙诺",是1933年10月2日在库尔干省掉下来的。

这块白陨石掉下来的地方一共发现了十多块陨石,这些陨石块的总质量大约是3.5千克。这块白陨石有另一个特点,就是很脆。甚至用手指轻轻一压,也很容易把它压碎。奇怪的是,当初它用宇宙速度在地球的大气圈里飞行的时候,它怎么能够克服大

[1] 每一块陨石都是用离它掉下来的地方最近的那个居民点的名字命名的。——编者注

气圈里那么大的阻力而没有散碎成粉末。道理是这样的：它的滞留区是在地面上方很高的地方，那里的气层非常稀薄，所以它掉下来还是完整的。

我们已经认识了陨石的各种类型，看到了它们的典型的特征以及它们的内部物质在色泽上的差别。

我们继续看陨石标本。往下的一个陈列橱里摆着成堆的陨石，大小都不一样，形状也都不规则。

这个陈列橱上面写着："陨石雨"。

原来，流星体用宇宙速度在地球的大气圈里飞行的时候几乎总要分裂成块，这些碎块就朝着几十平方公里面积的地面散落下来。滞留区里空气的阻力增长得特别快，通常流星体是在将要进入滞留区的时候分裂的：由于流星体的形状不规则，空气的压力又极大，结果，气压在对流星体的面发生作用的时候就不能平均地分布在这个面上，所以这个面就裂开了。

地面上有过真正的石头雨，雨后捡到了几千块的小陨石。

最大的一次陨石雨是在 1912 年 7 月 19 日，落在美国一个叫戈耳勃鲁克的小地方附近。雨过以后，在 4 平方公里的面积上一共捡到了 14 000 块陨石，总质量是 218 千克。



1799 年洪保德在南美洲观察陨石雨

我们在陈列橱里看见了"五一村"陨石雨的石块。这是苏联下过的最大的陨石雨之一。这次陨石雨是 1933 年 12 月 26 日下在当时的伊凡诺沃省的，这次在将近 20 平方公里的面积上一共捡到了 97 块陨石，总质量大约是 50 千克。

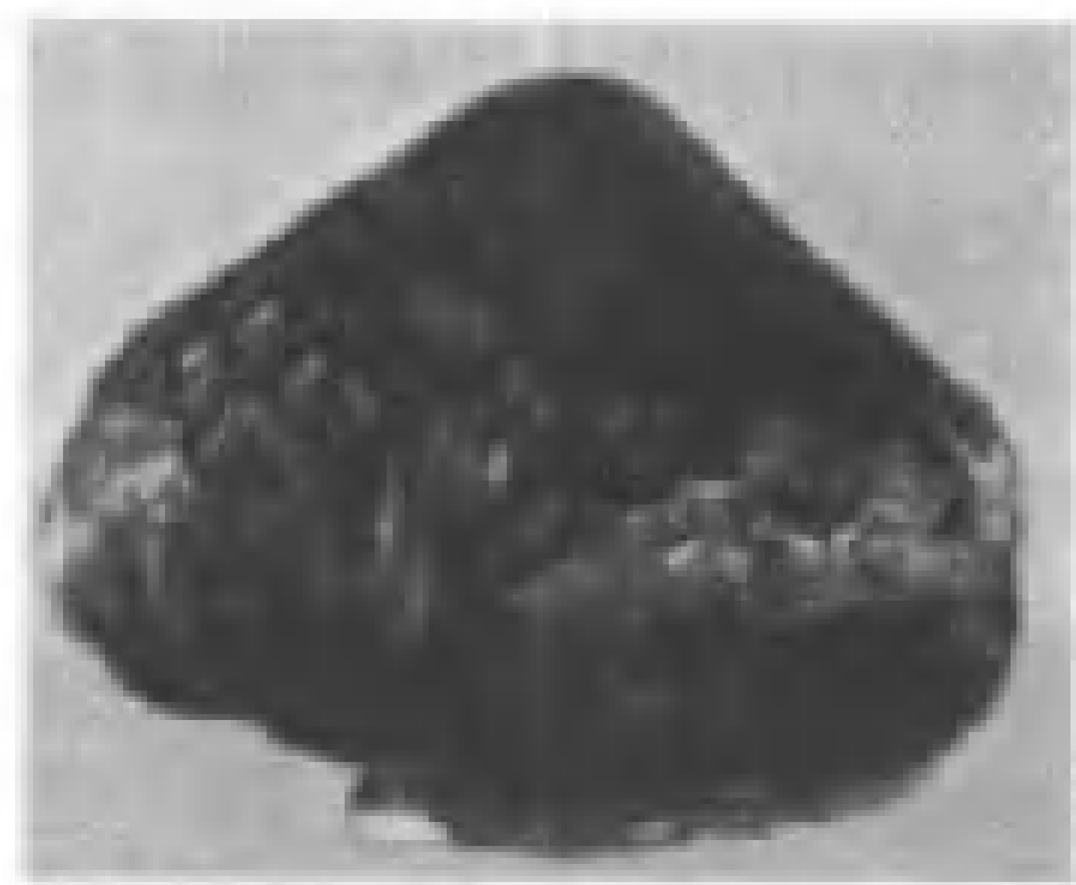
这次陨石雨下过以后，当地

学校的学生都积极地参加了搜集陨石块的工作。由于这次陨石雨是在冬天下的，所以有几块陨石穿透了雪层而掉在冻结了的地面上。这种情况使得陨石块的搜集工作比较容易进行，因为第二年春天雪刚一融尽，地面上的陨石块就都露出来了。

在博物馆里，“五一村”陨石雨的陨石块旁边有另外一堆陨石块——“若夫特涅夫庄”陨石雨的陨石块，是 1938 年 10 月 9 日在斯大林诺省掉下来的。这些陨石块都比较大，最大的 3 块质量分别为 32、21 和 19 千克，这次捡到的 13 块石头总质量是 107 千克。

还有一次陨石雨—— “普尔土斯克”陨石雨也很有趣，它是 1868 年 1 月 30 日在波兰下的。这一次雨后一共捡到了 3000 块陨石。

看，有一个陈列橱里并放着两块很有趣的陨石：一块特别大，另一块特别小。大的一块重 102.5 千克，小的一块只有核桃那样大，一共才 7 克重。这两块陨石是 1937 年 9 月 13 日在鞑靼自治共和国同时掉下来的，它们掉下的地点相距大约 27 公里。除了这两块陨石以外，当地还另外捡到了 15 块陨石，总质量大约是 200 千克。


石陨石“卡拉科尔”，质量大约为 2.8 千克，1840 年 5 月 9 日掉在当时的塞米巴拉丁斯克省。这块陨石像炮弹头，是定向形的

现在我们看底下一个陈列橱。摆在这里的陨石的形状都是典型的。最常见的陨石都是碎块状的，但是这里有一块陨石像炮弹头。这是一块石陨石，叫做“卡拉科尔”，是早在 1840 年 5 月 9 日掉在当时的塞米巴拉丁斯克省的。它的质量大约是 2.8 千克。它用宇宙速度飞行的时候，头部受到地球大气圈的作用而磨削成圆锥形，这种圆锥形叫做定向形。它穿过大气圈朝地面上掉下来的时候并没有分裂。

这块石陨石的旁边还有一块陨石，叫做“列彼耶夫庄”，也

是圆锥形的，然而是铁质的。这块铁陨石在1932年8月8日掉在阿斯特拉罕省，质量在12千克以上。



石陨石“提摩希纳”，质量约是49千克，1807年3月25日掉在当时的斯摩棱斯克省。这块陨石是多面形的，像一个晶体

上面的一块陨石很使我们注意。它本身的形状像一个巨大的晶体。这是一块石陨石，叫做“提摩希纳”，质量大约为49千克，是1807年3月25日在当时的斯摩棱斯克省掉下来的。这块陨石所以成了这种形状，是因为当初完整的那个流星体用宇宙速度在大气圈里飞行的时候裂成了几块的缘故。

根据科学家的研究，正像糖块能够劈裂的情形一样，石陨石也会顺着它的一层层平滑的面分裂开来。这是由于它的内部结构的性质和矿物成分的性质使它这样的。我们知道，属于石陨石一



1947年2月12日沿海边区的锡霍特–阿林山的一次铁陨石雨中掉下来的最大的一块铁陨石块，质量为1745千克



锡霍特-阿林山铁陨石雨中掉下来的巨大陨石的碎块



锡霍特-阿林山铁陨石雨当中掉下来的一块陨石，图示它熔化过的壳的结构，放大到大约7倍

类的另外许多块陨石，包括陨石雨的一些陨石块，它们的某些表面都是平滑的。

我们看见有许多特别大的陨石块放在几个特制的台子上面。最大的一块的质量几乎达到2吨。

这是在锡霍特-阿林山一次铁陨石雨中掉下来的最大的一块。这块陨石很引人注意，因为它表面的结构非常有趣。它的表面积很大，面上椭圆形的坑凹非常清楚，凹坑洼都朝着面上的中心部分辐射出去。看到这些凹坑洼，就能知道这块铁陨石当初用宇宙速度在大气圈里飞行的时候，一阵阵炽热的气流是怎样流过它周围的。



锡霍特-阿林山铁陨石雨当中掉下来的一块陨石，它的面上有熔化过的壳，还有特别明显的坑洼

这块铁陨石的旁边还有3块大的铁陨石，也都是那次锡霍特-阿林山铁陨石雨中掉下来的，这3块的质量分别是500、450和350千克。

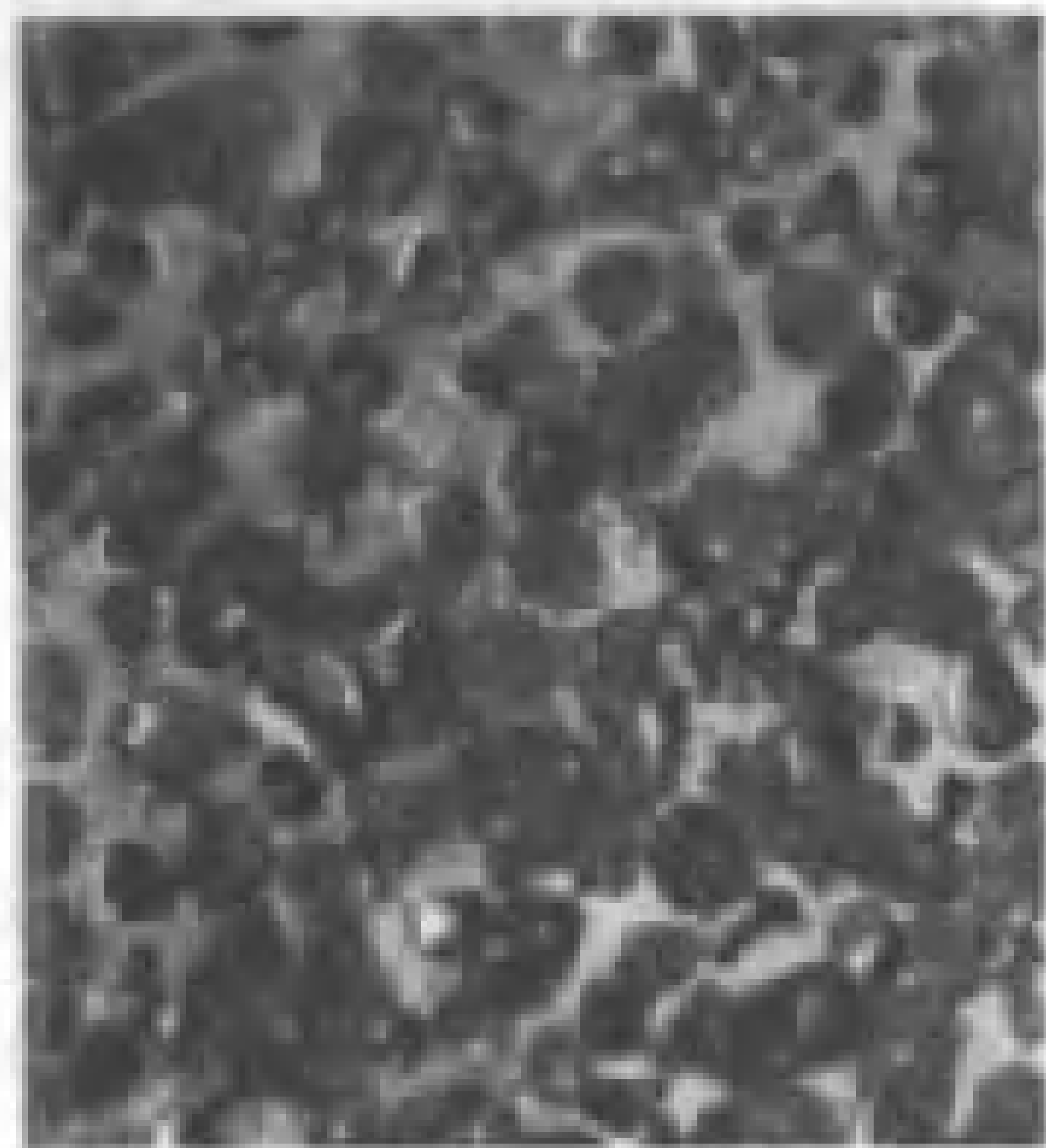
还有一块奇异的铁陨石，叫做“鲍古斯拉夫卡”，是1916年10月18日在沿海边区掉下来的。它已经碎成了两块，它们的质量分别是199和57千克。这块铁陨石是在飞进空气的时候裂开的。



铁陨石“鲍古斯拉夫卡”，1916年10月18日掉在俄国的远东地方；它掉下来以后碎成了两块，两个碎块的质量分别是199、57千克

看，这又是一块最大的石陨石，叫做“卡申”，质量为127千克，是1918年2月27日在当时的特维尔省掉下来的。

我们再看一个陈列橱就可以把陨石看完了。这个橱里摆着劈成了两半的两个陨石碎块，最初完整的那块陨石质量达到600千克以上。这两个碎块断裂的面都已经磨光，可以在面上看到这块陨石内部的奇异的结构很像是铁质的海绵，海绵的空隙里充满着一种浅黄绿色的、像玻璃那样透明的物质——橄榄石。这块陨石叫做“巴拉斯铁”，是俄国搜集到的第一块陨石。这块陨石属于铁石陨石类(橄榄陨铁)。



陨石“巴拉斯铁”，1749年在克拉斯诺雅尔斯克以南发现，图上看得出夹在金属铁当中的橄榄石颗粒

这块陨石是1749年铁工米德维捷夫在西伯利亚找到的。1772年，它被运到了彼得堡的科学院，交给了巴拉斯(П. С. Паллас)院士。著名的科学家、科学院通

信院士赫拉德尼(З. Ф. Хладный)对它进行了研究。1794 年，他在里加出版了一本专门的著作，叙述了他研究的结果，初次证明了这块铁是从地球以外飞来的，也就是说，这块铁是一块陨石,他还证明了陨石掉在地球上的可能性。

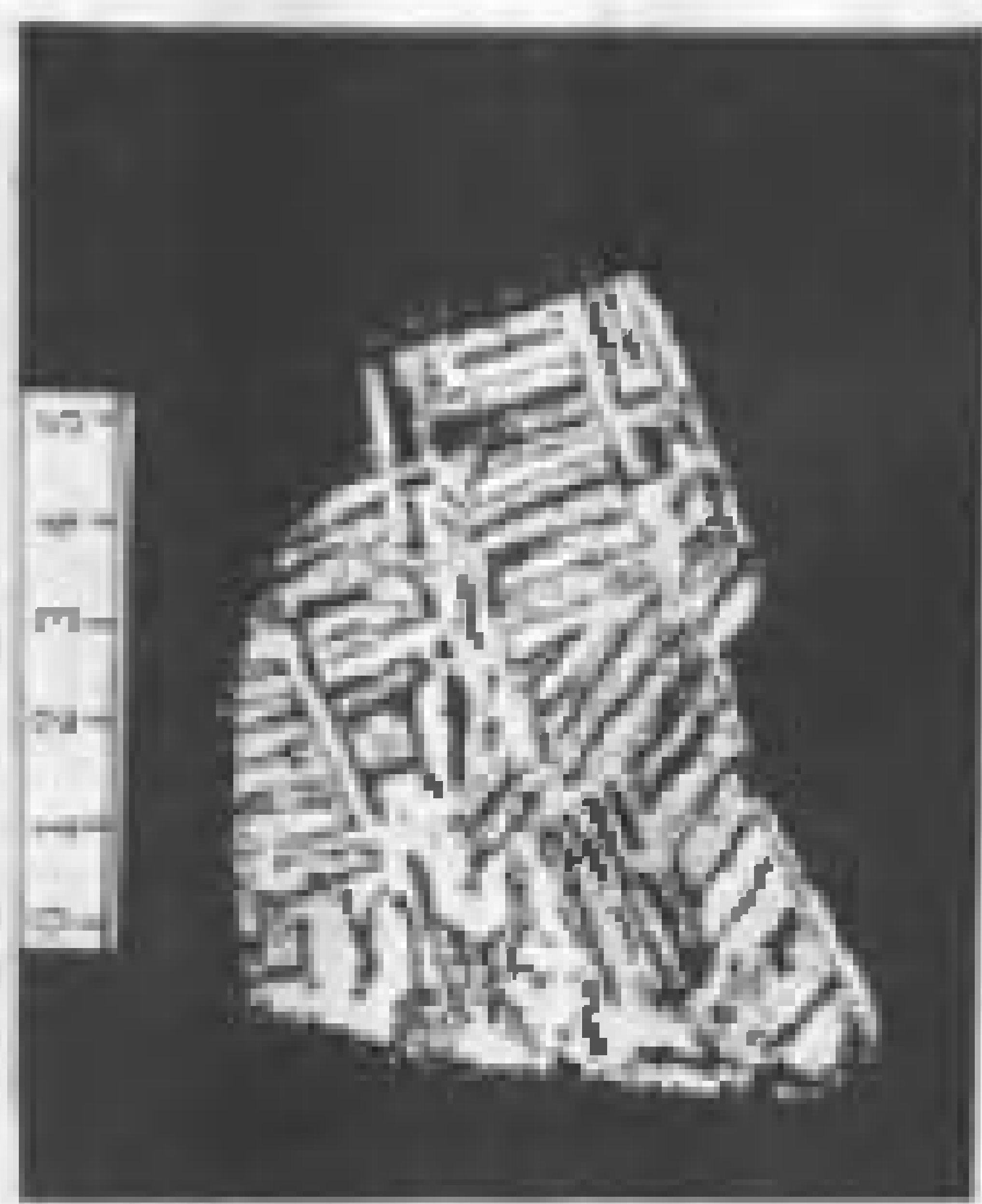
但是赫拉德尼的结论受到了傲慢的西欧科学家的批评和嘲笑。这些科学家认为地球上不可能有陨石掉下来，他们认为，亲眼看见陨石掉下来的人所讲的话都是捏造的。可是在赫拉德尼发表了他的结论以后差不多过了 10 年，1803 年 4 月 26 日，法国的累格耳城附近就下了一场很大的石陨石雨，“雨”后捡到了将近 3000 块陨石。当地许多居民都亲眼看到了下这场陨石雨的经过。从此以后，巴黎的科学家连同西欧的其他科学家除了承认有陨石之外，就再也没话可说了。

从上面说的可以看出，俄国是研究陨石的科学——陨石学的诞生地。

上面谈到的苏联科学院收藏的大陨石块，还不是世界上最大的。

世界上最大的陨石是一块铁陨石，叫做“戈巴”，是 1920 年在非洲的西部发现的。它的质量将近 60 吨，形状是扁方体，大小是 3 米×3 米×1 米。这块陨石到现在还在它发现的那个地方没有动，在那里受着大气的破坏作用。

还有 3 块大的铁陨石，它们的质量分别是 33.5、27 和 15 吨。石陨石当中最大的一块的质量大约是 1 吨，是 1948 年在美国掉下来的。



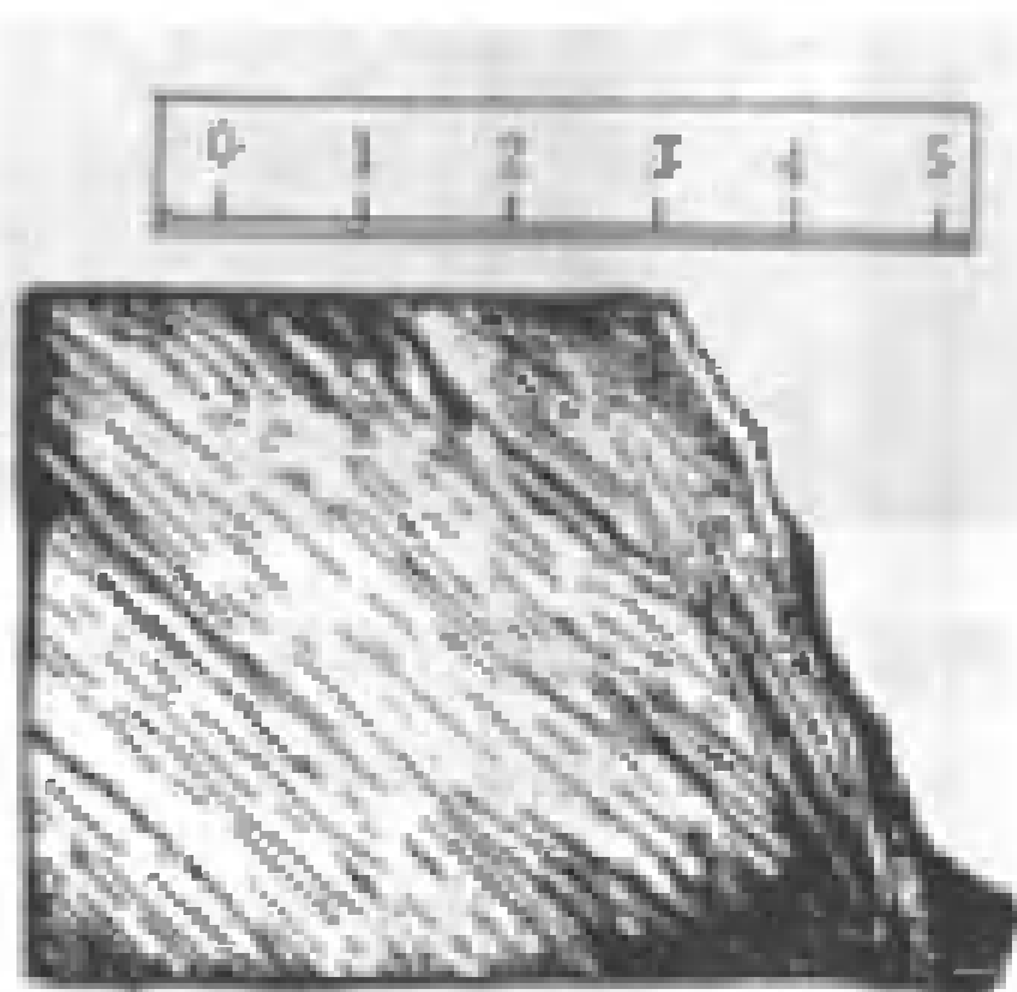
“奥班科尔”铁陨石劈开的断面经过腐蚀而生成的维特孟斯台登氏像

现在我们来认识一下陨石的内部结构。

我们看见有一个陈列橱里专摆

着特别选出来的陨石标本。看，这块铁的表面已经磨光，镜面平滑，有金属的光泽。它的旁边是另一块铁，这块铁的表面是磨光后用弱的酸溶液腐蚀过的，可以看到磨光面上有一种奇异的图案：许多条带互相错综在一起，带的周围有闪亮的薄的边缘。这个图案是因为酸对这个表面的腐蚀作用进行得不均匀而形成的。

道理是这样：铁陨石本身的成分不均匀地分布，内部分散着许多薄片和小条，宽度从十分之几毫米到两毫米或两毫米多。这些小条的成分除铁以外还羼杂着少量的镍，镍的含量不超过13%。因此，这些小条的表面磨光以后可以受到酸的腐蚀作用而变得粗糙，并且失掉光泽。而小条周围狭窄而又闪亮边缘的铁里羼杂的镍比较多(镍的含量在25%以上)所以它们的化学性质非常稳定，不会受到酸溶液的腐蚀作用；铁陨石磨光了的表面用酸腐蚀以后，还是像在腐蚀以前那样有闪亮的光泽，并显示出有趣的图案，叫做维特孟斯台登氏像，这是用首先发现这种图案的那位科学家的名字来命名的。



“鲍古斯拉夫卡”铁陨石劈开的断面经过腐蚀而生成的纽曼线
(参看229页的图)

凡是经过腐蚀而呈现维特孟斯台登氏像的铁陨石，都叫做八面陨铁，因为生成这种图案的小条都是沿着有几何图形的面分布的，而这些图形都有八个面，叫做八面体。

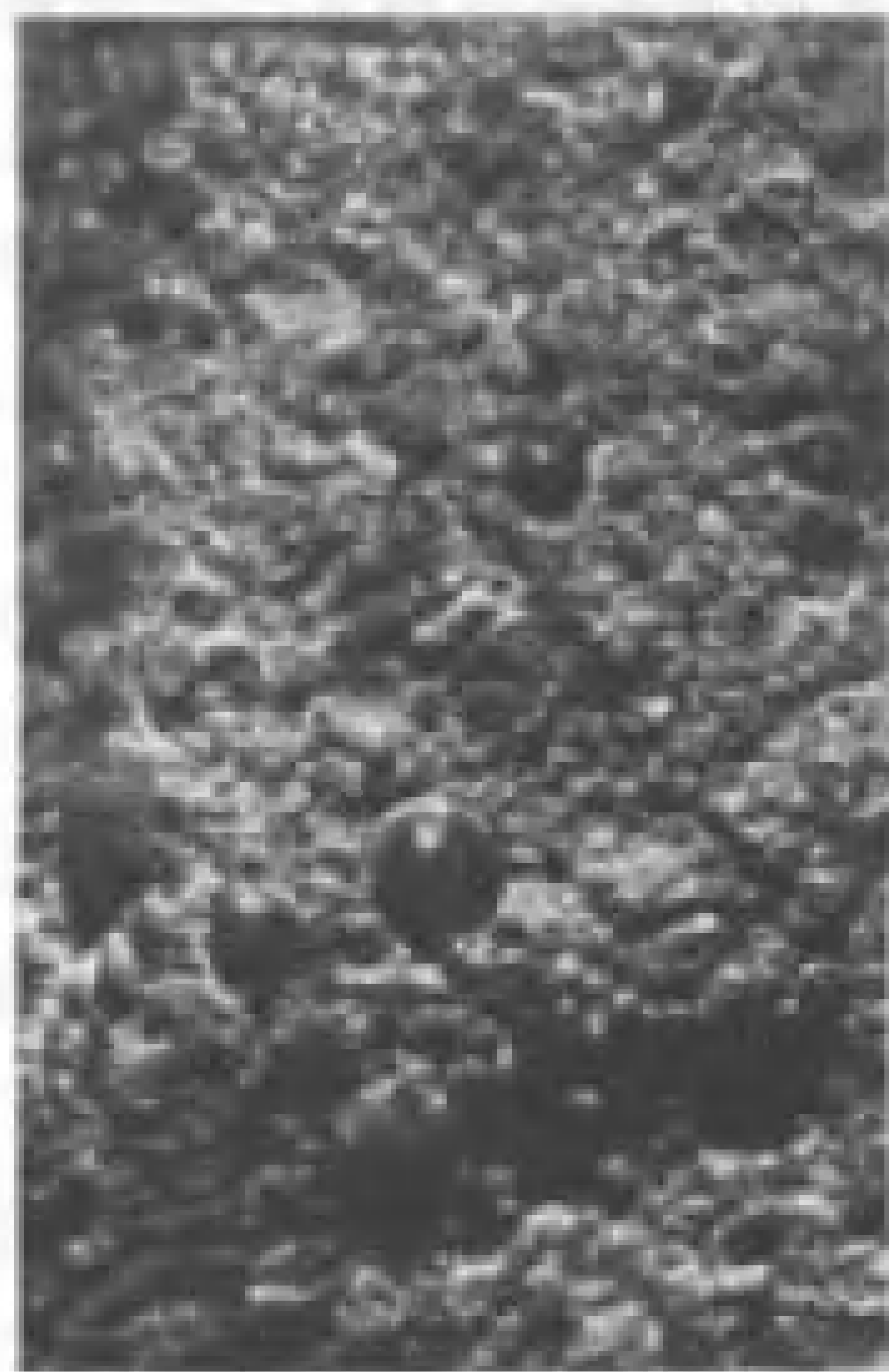
并不是所有铁陨石的磨光了的表面经过腐蚀以后都能生成维特孟斯台登氏像。有些铁陨石的表面在腐蚀以后就出现许多细小的平行线，叫做纽曼线，这也是用发现这些平行线的那位科学家的名字来命名的。

凡是呈现纽曼线的铁陨石中镍的含量极少，只有5%～6%。这类铁陨石是单晶体，也就是说，它们都是等轴晶系里的一种单一的晶体，有6个面，叫做六面体。因此，呈现纽曼线的

铁陨石就叫做六面陨铁。

还有一类铁陨石叫做中镍铁陨石，这个名称在原文的意思是“失常”。这类铁陨石里镍的含量很高(在13%以上)，把它们的表面磨光以后经过腐蚀，它们的面上是不呈现一定的图形的。

石陨石的内部结构也是非常有趣的。



萨拉托夫找到的石陨石(球粒陨石)断面上的球粒

看，这是一块石陨石的碎片，连肉眼都能看清楚它的断面上有许多十分规则的球粒，像弹丸似的。有些石陨石放在显微镜下一看，可以看到它们的断面上布满这样的球粒，球粒非常小，只有十分之几毫米，甚至更小。这样的球粒叫做陨石球粒，含有球粒的陨石叫做球粒陨石。

90%的石陨石都是球粒陨石，所以球粒陨石是石陨石当中最常见的一种。球粒只能在陨石里形成。地球上的各种岩石完全不含这种球粒，因此，如果在一块不认识的石头上发现了这种球粒，就可以有把握地断定这块石头是石陨石。科学家已经得到了结论说，陨石球粒是陨石里熔化了的物质迅速凝成的点滴，是在陨石生成的时候形成的。

除了球粒陨石以外，还有一些石陨石，固然这类陨石少得很，完全不含球粒，这些石陨石叫做无球粒陨石。在这些石陨石的断面上，可以看到各种矿物的有棱角的碎片，这些碎片都跟石陨石本身所含的大量的细小粒物质结合在一起。这类陨石的结构跟地球上的岩石极其相似。还有几类石陨石也各有特性，但是它们比无球粒陨石更少见，我们就不讲了。

现在我们来看看陨石含有哪些成分。下面是各类陨石的平均

化学成分表。

各类陨石平均化学成分

化学元素的名称	平均化学成分(%)		
	铁陨石	铁石陨石	石陨石
铁	90.85	49.50	15.6
镍	8.5	5.00	1.10
钴	0.60	0.25	0.08
铜	0.02	—	0.01
磷	0.17	—	0.10
硫	0.04	—	1.82
碳	0.13	—	0.16
氧	—	21.30	41.0
镁	—	14.20	14.30
钙	—	—	1.80
硅	—	9.75	21.00
钠	—	—	0.80
钾	—	—	0.07
铝	—	—	1.56
锰	—	—	0.16
铬	—	—	0.40

从表里看得出来，这些元素都是我们已经知道了的，没有一种是我们不知道的新元素。陨石是从遥远的宇宙空间到我们这里来的，除了地球上我们已经知道的各种化学元素以外，难道陨石里面真的再也没有新的、比较出奇的元素吗?难道在行星际空间的任何一个遥远的角落里面，都没有一种根本不像地球上所有的新物质吗?

实际上的确是这样：100 多年以来，许许多多科学家把各种各样的陨石进行了极其精密的、详细的化学分析，结果证明，在陨石里没有一种化学元素是地球上所没有的，而且地球上所有的化学元素在陨石里也几乎都可以找到(尽管大多数元素在陨石里的含量微乎其微，只有用极其精密的光谱分析法才能检查出来)。

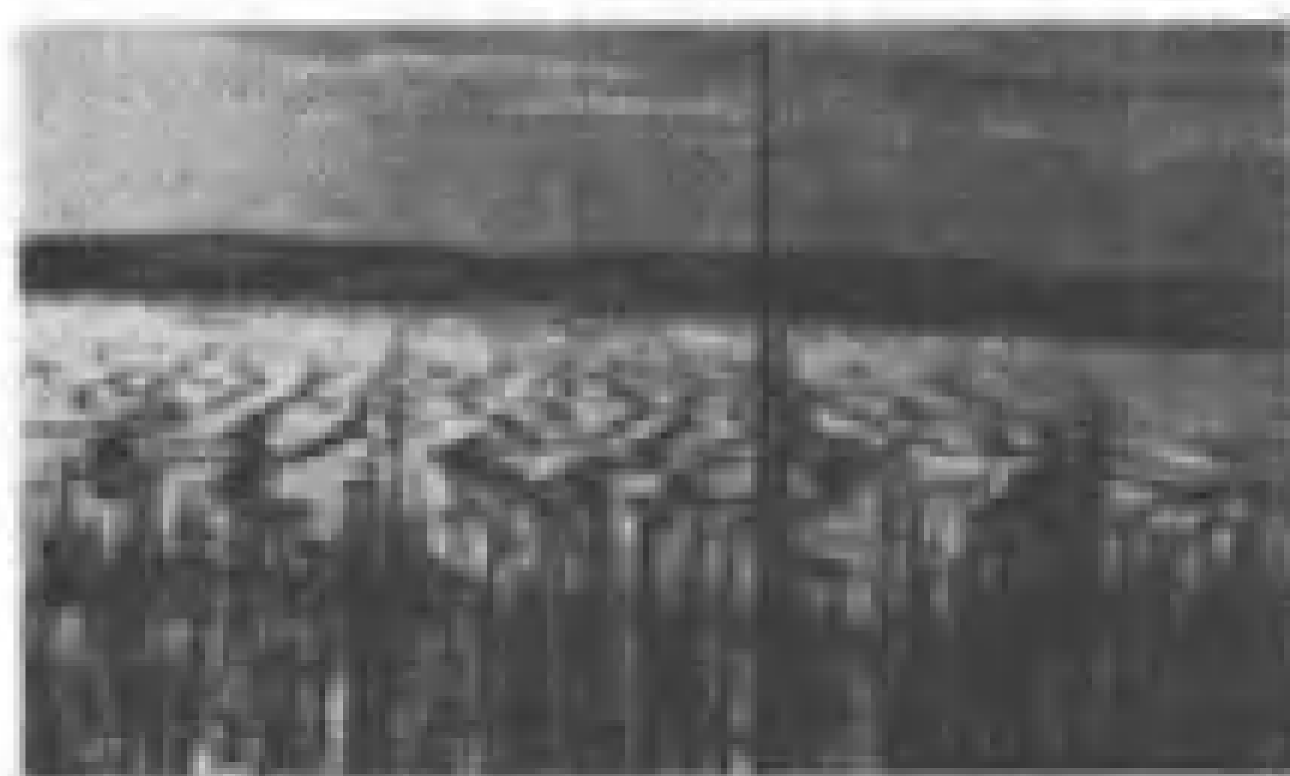
苏联杰出的矿物学家和地球化学家阿·费尔斯曼[1]把物理学上和化学上的最新成就跟天文学上的资料结合起来而奠定了宇宙化学的基础——宇宙化学是研究宇宙里的化学变化的一门科学。这位科学家详细地研究了陨石的成分，提出了原子在宇宙里旅行的思想，最后证实了宇宙间物质的统一性：陨石也罢，我们的地球也罢，太阳系里的所有天体都是由相同的一些化学元素组成的。这就是说，这些天体的来源相同，它们在起源问题上是相互有关的。

近年来科学家又得到了一个重要的证据，证明这些天体的来源是相同的。

科学家研究了地球上的和陨石里的许多化学元素同位素的成分。结果发现：陨石里的也罢，地球上的也罢，所有这些元素同位素的成分都是一模一样的。

看了上面的各类陨石平均化学成分表就能知道，石陨石含得最多的元素是：氧（41.0%）、铁（15.6%）、硅（21.0%）、镁（14.3%）、硫（1.82%）、钙（1.8%）、镍（1.1%）、铝（1.56%）。

石陨石里的氧跟另一些元素化合而生成了多种硅酸盐和氧化物矿物。至于铁，一部分跟别种元素化合，另一部分则呈金属态。金属态的铁闪着星星点点的光亮而分散在整个石陨石里，这种情形可以从石陨石的断面上看出来。



通古斯陨石掉下的地区里的沼泽地带

前表里的数字是各类陨石的平均化学成分。化学元素在个别陨石里的含量可能跟表里的平均成分出入很大。

贵金属在陨石里的含量极少，1吨陨石平均只含银和金各5克，含铂20克。

---

[1] 阿·费尔斯曼就是本书著者，这一节“陨石——宇宙使者”不是阿·费尔斯曼写的而是克里诺夫写的，见本书原序。——译者注

陨石不断地朝地球上掉下来。根据科学家的计算，掉在整个地球上的陨石每年至少有 10^3 块。然而能够找到的却非常少——一年只不过找到 4 ～ 5 块。



通古斯陨石掉下的地区里
倒下来的树木

其余没有找到的陨石，有掉在海洋里的，有掉在两极地方和沙漠里的，有掉在山地和森林地带里的，总的说来，这些陨石掉下的地方离居民点太远，所以还没有找到。这些陨石受到大气的作用而逐渐破坏掉，就跟土壤羼杂在一起。

陨石里的原子跟地球上的原子混合起来。它们先从土壤里走进植物体里；动物吃了植物，这些原子就走进动物体里；人再吃了植物和动物，这些原子就又走进人体里了。

可见，不但我们地球本身跟它周围的宇宙里的别的部分有



锡霍特–阿林山铁陨石雨掉下来的地方的一个最大的
漏斗状陨石口，口径 28 米，深 6 米

密切关系，地球上的生物界跟这些部分也有密切的关系。

科学家曾经计算过由于掉下来的陨石每年地球质量增加了多少。计算的结果是，地面上每昼夜都要掉下来 5 ～ 6 吨的陨石物质。

这样说来，每年地球质量将增加近 2000 吨。这个数目当然不算什么，即使由于流星体飞行以及受到破坏的时候，在大气圈里形成的宇宙尘埃沉降下来使地球质量增加得更多一些，但是这也算不了什么。维尔纳茨基院士认为，地球的质量是丝毫也不会增加的。他说，在陨石和宇宙尘埃掉在地球上而使地球体重增加的同时，地球也把另外一些物质颗粒与一些原子，主要是气态原子，以及细小的尘埃放出到太阳系里去。物质在地球上一来一去，结果就达到了动态平衡状态。这样，维尔纳茨基院士就得到结论说，我们所要研究的问题“并不是个别的陨石、火流星和宇宙尘埃偶然朝地球掉下来的问题，而是巨大的行星的作用，是我们的地球跟宇宙空间的物质交换”。在这个过程里包含着我们的地球跟它周围的空间、跟行星际空间之间的不可避免的相互作用。

虽然到现在为止科学家对陨石进行的化学分析结果并没有找到新的物质，而只是从这些分析的结果得到了极其重要的结论，这就是地球和别的天体的物质的统一性，但是拿矿物成分来说，却也看出陨石的一些特点。

陨石里所含的主要几种矿物，在地球上的岩石里也是含得很多的。这些矿物是橄榄石和无水的硅酸盐：顽辉石、古铜辉石、紫苏辉石、透辉石和普通辉石；还有长石类的矿物。

但是在陨石里面还没有找到过很多的风化以后所生成的矿物，也没有找到过一种有机化合物。

陨石还有一个特征，它们所含的矿物里面没有含水的硅酸盐(即含化合水的矿物)。科学家作了顽强的努力，想从陨石里找出这类矿物来，但是一直没有找到。直到最近，苏联科学家才在陨石里发现了绿泥石一类的矿物，这正是含水的硅酸盐。然而含这

类矿物的陨石少得很，只有所谓碳质球粒陨石这一类稀有的石陨石里面才含有这类矿物。

根据研究知道，绿泥石里的化合水占碳质球粒陨石全部质量的8.7%。

这个发现有很重大的意义，可以帮助我们解决一个主要问题——阐明陨石生成的条件。

科学家还在陨石里面发现了地球上所没有的一些矿物，这个发现的意义也很重大。尽管这些矿物在陨石里的含量非常少，但是这个发现还是能够证明陨石生成的条件是跟地壳生成的条件不同的。陨石学家的重要任务之一正是要阐明这些条件。科学家又发现了陨石的变质作用，这个发现的意义尤其巨大，在这个作用过程当中，不但陨石的结构起了变化，连它的矿物成分也起了变化。陨石从它生成的时候起在行星际空间飞行，许多次接近太阳，在这段时间里它们受着阳光的照射而变得很热，这就是陨石发生变质作用的原因。科学家详细地研究了陨石的变质作用，特别是近年来这种研究有了很大的发展，结果我们就看到了陨石的历史，看到了它们在行星际空间漫游的历史。

陨石里还含有放射性的化学元素。有一种是放射性钾，它在石陨石里的含量不算少。钾放射蜕变生成氩。因此，根据陨石里氩和钾的含量的比，就能测定陨石的年龄，也就是计算陨石从它生成(凝固)的时候起已经经过了多长的时间。

苏联科学家近年来已经根据氩和钾测定了陨石的年龄。这样测得的陨石的年龄是6亿～40亿年。

陨石是从哪里掉到地球上来的，现在我们已经知道了。但是，陨石是在什么时候生成的以及怎样生成的，这个重要的问题还没有得到解决,现在研究陨石的科学家正在这方面下功夫研究。

大多数苏联科学家都认为，陨石和小行星都是一个或几个巨大天体——行星——的碎块，这些天体是在很久很久以前分裂的。但是这在眼前还只是一种假设，要确凿地证实这个假说，还

需要继续对陨石作全面的研究。毫无疑问，关于陨石的成因、它们在行星系生成的过程中所起的作用以及它们将来的演变问题，最后是一定会得到解决的。

斯大林在他关于辩证唯物主义和历史唯物主义的著作里说，“……世界上没有不可认识之物，而只有现在尚未认识，但将来却会由科学和实践力量揭示和认识之物。”

地下深处的原子

于尔·维恩、约克·桑德和科学院院士奥勃鲁契夫(В. А. Обручев)写过一些有趣的小说，描写怎样到地球中心去旅行，怎样到达人很难达到的地下深处的世界。在另外一些幻想小说里，作家描写了向渺茫的高空的飞行。这些幻想小说，从17世纪起一直到乔尔科夫斯基(К. Э. Пиолковский)仔细考虑过的“飞到月球”，把我们带到了遥远的、莫测高深的世界。

读了这些令人神往的故事，看出了人的求知欲是多么强，人们过去和现在都不甘心光住在地球表面的一层“薄膜”上，人的眼界所及的才不过是地壳的20～25公里深的一层，人对这一点是决不满意的。

毫无疑问，最近50年来，人们为了扩大世界和控制世界而进行的斗争已经得到了极大的成就。从前常常是带有运动竞赛性质的想要登上雪线的高峰，现在的苏联科学院的科学探险队却已经不是为了运动，而是为了征服帕米尔高原。

过去认为大气的上层是上不去的，那里是静悄悄的，冷清清的，地球上的分子也不在那里起化学作用，但是勇敢的俄罗斯平流层飞行家费多先科(Федосеенко)、瓦先科(Васенко)和乌塞斯金(Усыскин)却冒着生命的危险，终于打开了征服高空史的第

一页。



帕米尔的斯大林峰,海拔 7495 米

平流层气球和火箭的飞行大大地扩展了我们对于高空的认识，那里物质的分量非常稀少，每 1 立方米里物质粒子的数目只有地面上空气里的几百万分之一。

高空是最先引人注意的领域，而在这方面的成就是非常实际的：技术已经有了很大的收获，科学家对于我们还不能达到的这个遥远世界已经知道得很多，比对于踏在我们脚底下的那个世界——地球深处的世界所知道的要多得多。

我们对于地下深处的认识却差得多。人们之所以对地下深处发生兴趣，主要是因为人们想开出石油和金子来。人们钻凿油井，开掘矿坑，要深入到地底下去，可是现在最深的油井不到 5 公里，最深的金矿矿坑还不到 3 公里。而这些已经算是辉煌的胜利了。

人们既然努力追求金子和石油，以后当然还会挖得更深些。新的技术的成就很可能打破现在的纪录，再往下多挖一两公里。可是即使这样，短短的几公里比起地球的半径 6377 公里来又算得什么呢?那不才合地球半径的 $1/10^3$ 吗?

完全可以理解，人的思想对于这种情况是不能容忍的，所以从远古的哲学家到现代的天文学家，一切研究科学的人都在思考地球内部的构造问题，想着怎样才能控制地球的深处。我们现在就不妨来想象一下，即使我们的想象还不能连贯起来，假想我们明白了地球深处的情形，就从地球表面到地球中心来做一次想象的旅行，看看一路上会碰到些什么东西。

* * *

第一个描写到地球深处去旅行的人是罗蒙诺索夫。固然，他的这种思想是分散在许多著作里的，可是拉狄雪夫(A. H. Радищев)写了一本《论罗蒙诺索夫》(1790年)，把这种思想归拢在一起。有趣的是，拉狄雪夫在他另外一部名著《从彼得堡到莫斯科旅行记》的最后几页里，讲到坎坷不平的、泥泞的驿道是多么难走，他说当时旅行的困难情形正是罗蒙诺索夫幻想到地球中心去旅行的那样；他又描绘了一些景象，如果科学家从地面始终不渝地下到地中心就会看到这种情形。下面就是他有趣的叙述：

“……〔罗蒙诺索夫〕很小心地走下了洞口，于是这颗辉煌的巨星很快就看不见了。我要顺着罗蒙诺索夫在地下旅行的路线走去，我要把他所想的东西集中起来整理一番，联系起来看看这些想象在他脑子里是怎样逐个产生的。他想到的那幅图画，对我们说来一定会很有兴趣而且很有意思。”

“到地下去旅行的人一通过地球的表层，一切植物生着根的那一层，他就感觉到地球表层和地下深处很不一样，首先是地球表层有独特的滋生能力。到地下去旅行的人到了这里可能得出结论说：现在的地球表面不是别的什么成分，而是由动植物的躯体组成的，地面之所以肥沃，之所以有滋生和发展的能力，是因为一切生物各自保持着不可毁灭的和基本的组成部分，这些生物的本质不变，所变的只是形状，而且形状也是偶然生成的。旅行的人再往下走，他发现底下都是一层接着一层的。”

“旅行的人在各个地层里有时候可以找到海洋动物的遗体，也能找到残余的植物体，因而可以断定：地球的成层构造开始的时候是从水里漂浮着的东西形成的，当时水从地球的这一端向地球的那一端移动，使地球变成像现在地底下的那种样子。”

“地底下这种特有的成层构造，有时候会失去它原来的面目，看上去像是许多不同的地层混杂在一起。从这一点可以断定，曾经有猛烈的火力透过地中心，遇到了和它反抗的水气，就

发起脾气来，翻腾着，颤动着，冲倒和抛掷一切敢于和它顽强对抗的东西。”

“火力混乱了不同的地层，喷发出热气，刺激原始状态的金属，使它们有了吸引力，使它们结合起来。罗蒙诺索夫走到这里，凝视着这片沉寂的天然宝藏，想起了人类的饥饿和贫困，于是很痛心地离开了这个阴暗的人间贪欲的巢窟。”

仔细分析这一段卓越的叙述，我们可以说它是完全符合现代概念的；里面没有一句话是我们能够驳倒的。无非我们现在的说法不一样罢了。

我们现在是用钻探仪器来研究地下的情形，所以现代对于地下的概念比先前的幻想要真实得多，下面就是我们现在研究的结果，可以跟 18 世纪科学家幻想的情景对照着来看。

莫斯科克列斯强斯卡亚关卡的外面在前几年造了一个不大的钻架，这个钻架从大街上是看不见的。里面装着一架钻机，为的是往地球深处钻下去，看看莫斯科的地底下是由什么组成的。

于是开始了顽强的工作，长年地往下钻凿，想钻个几公里深。起初是穿过粘土和沙，那都是莫斯科平原上的沉积物，是斯堪的纳维亚南下的大冰川冲来的。这是这次冰川时代的最后一次暴发，苏联欧洲部分的整个北部都埋在厚厚的一层冰雪底下。

粘土往下是各式各样的石灰岩，每两层石灰岩当中隔着一层泥灰岩和粘土，有的地方石灰岩中夹着各种石灰质的贝壳和骨骼；石灰岩完了以后是沙，沙里夹着煤层，表明它们是煤田，这就是苏联中部工业地带煤和煤气的供应基地。

地质学家详细研究了古代石炭纪海里的沉积物，他们发现当时的海本来不深，天气温暖潮湿使沿岸一带植物非常茂盛。后来海变深，水从东北向西南侵袭，冲毁了森林，淹没了植物；海里繁生着的水生动物堆积起珊瑚礁和介壳石灰岩的浅滩。这时候生成的石灰岩可以用来盖房子，莫斯科因而得到“白色莫斯科”的美称。这些石灰岩在现在还用得很多。

我们的钻孔已经穿过了石炭纪在几千万年漫长的岁月里沉积出来的这一连串的复杂地层，再钻下去就碰到另一类沉积物，大量的石膏。钻机穿过几百米厚的石膏岩层以及中间夹杂着的好多层粘土，然后遇到大量的水。

这些水的上层含有许多硫酸盐，往下去，含的氯化物越来越多；钻机已经钻进盐水，这里氯化物含量有海水里的10倍那么多。这些氯化物当中主要是氯化钠和氯化钙，还羼杂着许多溴化物和碘化物。

这里已经不是石炭纪，而是更早的、泥盆纪的遗迹了：那时候有大海，到处连着盐湖和三角港，海岸四周还有沙漠；海底沉积了很厚的盐层，盐层里有时候夹着一层薄的淤泥，有时候夹着一层灰沙，灰沙是从沙漠里被狂风卷到海里去的。

这时候钻孔达到的深度是1.5公里。再往下是什么呢?古代泥盆纪大海沉积物的底下还有什么呢?假如地质学家再挖个几百米下去，他会看见什么新的花样呢?科学家对这个问题做出了复杂的推测，从这些大胆的推测又做出了各种各样的假定。可是突然在1655米深的地方出现了沙。这显然是泥盆纪的海岸；一见沙就知道离陆地不远了。沙里有个别的属于火成岩的砾石，有海岸上常见的圆形碎石片。可见这里是海岸，是真正的海岸，所以再下去10米就穿进了坚硬的花岗岩。

莫斯科的钻机便是这样在1940年7月底第一次钻到了花岗岩——苏联北面从列宁格勒起南面到乌克兰的全部土地就是奠定在这个基础上的。不久，另外一些钻机在塞兹兰和塞兹兰以东先后钻到差不多同样的深度，也碰到了花岗岩，因而证实了卡尔宾斯基院士的天才预言：整个苏联欧洲部分大平原的地下，在古代是花岗岩的陆台。北起现在的卡累里亚南到德涅泊河和布格河的沿岸，这一带美丽的花岗岩和片麻岩的断崖就说明了这一点。钻机又往下钻了20米，钻进了坚硬的花岗岩。根据地质学家的判断，这是真正的花岗岩，是远古的沉积物，它的年龄算起来离现



莫斯科红场附近的一所大厦，壁面是用莫斯科地下开采出来的白石灰石砌的

在已经不止10亿年了。

钻机已经探到了莫斯科地下深处的花岗岩。可是再往下是什么呢?这层花岗岩底下会是什么地层呢?能不能再多钻2000米，好达到更下面漂浮着花岗岩的那一层呢?科学家对于这个问题争论得非常激烈。

有人说，没有希望钻得更深了，说是要钻透这层又硬又厚的花岗片麻岩的陆台，还要再钻几百米甚至几千米才行。

另外一部分科学家坚决主张继续钻下去，他们想从更深的地方找出这个谜的答案来。可是再钻下去确实是十分困难的，钻探工作者已经从地下深处取出了2公里长的好看的、粉红色的、坚硬的花岗片麻岩的岩心，再下去每多钻1米就不知要多费多少力气啊。

这是因为今天我们掌握的技术力量还不够，还不可能探到地下最深的地方，所以要了解地下更深的地方，还应当另想办法。关于这一点，奥地利青年地质学家爱德华·修斯在1875年已经首先提出了。

修斯决定用地质学和那时候刚诞生的地球化学的观点，从高空来鸟瞰地球。他设想地球有主要的几层，每层的成分是均一的。他因此首先根据旧时哲学家的想法，把整个地球分成简单的3层：第一层是大气圈，就是紧包着整个地球的那层大气；第二层是水圈，包括海洋和别的水体，水圈盖住和渗透地球的坚硬部分；最后一层是岩石圈，是岩石的世界，岩石圈的深处永远有火在燃烧，这种火就在有火山的地方喷发出来。

后来修斯又分析了岩石的化学成分，根据分析的结果继续研究这个分层的问题。

1910年，英国博物学家穆莱伊又把地球分成好几层，把它们叫做地圈。

就从这个时候起，化学家、物理学家、地球化学家和地球物理学家都开始了坚持不懈的工作，想进一步深入研究每一层、每

一地圈的构造。俄罗斯科学家维尔纳茨基和他的学派也专门研究这个问题，这件工作得到了全面的开展和深入。

地质学家和地球化学家的任务不是光看地球的“相貌”，地球的外貌，还得认识每个地圈里进行的各种作用的全部特征，还得想法了解地球内部的构造。

地球物理学研究了弹性振动波的性质，这种弹性振动波能够达到很深的地方，从反射波就能够分清各个地圈之间的界限。我们现在就根据地球物理学来简单说一说地球的每个地圈有什么特性。

现代的科学家算出来地球上下一共有13层，最高一层是我们到不了的星际空间，那里充满着流星和氢气、氦气的分子，也有个别的钠、钙和氮的原子。

这一层的下部界限在离地面大约200公里的高空。这下面是平流层：里面氮气和氧气的含量比上面的多。平流层的个别部分还夹着一层臭氧层。北极光在几百公里的高空照耀着，发亮的云



火山斜坡上在冒烟的火山口

层高到 100 公里。

从离地面 10 ～ 15 公里高空起往下又是一层，叫做对流层。这就是大家熟悉的空气，里面有氮气、氧气、氦气和别的惰性气体，还羼杂着水蒸气和二氧化碳。

再下面是一个大约 5 公里厚的生物圈，就是生物存在的世界。这个生物圈包括地壳的上层和地壳外面那层水的上层。

再下面就是那层水，叫做水圈。按成分来讲，水圈主要是由氢、氧、氯、钠、镁、钙、硫几种元素构成的。

再往下就是固体的地圈了：先是风化的皮壳，我们已经研究清楚这层壳，它含着酸性盐和一层浮土；然后是沉积岩层，是古代海洋的沉积物，有粘土、砂岩、石灰岩和煤层。这层地圈深到 20 ～ 40 公里的地方，再下面是另外一层叫做变质岩层。

过了变质岩层就是花岗岩了，里面含有很多的氧、硅、铝、钾、钠、镁、钙。到了地下 50 ～ 70 公里的深处又变成了玄武岩，玄武岩的成分不是铝和钾，而是镁、铁、钛和磷。

深到 1200 公里，情况又急剧改变。这里已经不是固体的地



乌兹别克斯坦扬吉-库尔干区在 1946 年 11 月 3 日夜里地震的时候从裂缝里流出的泥浆所造成的河床，长几公里

层而是特殊的熔化物质，这新的一层所谓橄榄岩层的成分是氧、硅、铁、镁，还有铬、镍、钒 3 种重金属。

有一种很灵敏的仪器，叫做地震仪，地震的时候可以用它接受到震波；研究了震波就可以很清楚地看出地底下有不同成分的地层。科学院院士果里岑（Б. Б. голицын）发明的地震仪非常灵敏，不但可以察觉短距离的震波，而且可以察觉环绕过全地球的震波，察觉从两个不同密度的地层界限上反射回来的震波，例如从地球核心反射回来的震波。这些资料正是说明岩石圈存在的最有力的证据。有些科学家认为深到 2450 公里的地方是矿层，里面含有多量的钛、锰和铁。

一旦深到 2900 公里，密度的改变就更加急剧，那里据推测就开始进入地球的中心的核；我们对于核的性质虽然还很不了解，但是知道它多半是由铁和镍组成的，同时含有钴、磷、碳、铬、硫等杂质。

以上就是现代地球物理学家和地球化学家所能告诉我们的地球构造的情形，每个地圈在成分方面一定有某几种元素特别多，而且每个地圈的温度和压力也都不一样。

所有这些情况都相当复杂，可能还有许多点是不正确的，尽管这样，有一个地带却还是会引起我们的注意。我们也就是住在这一个地带里，它在所有地圈当中有它特别的性质。

这是一个 100 公里厚的地带，是化学生活的地带，是进行地球里的化学反应的地带，



堪察加彼得罗巴甫洛夫斯克城附近的阿瓦琴湾，看到远处的阿瓦琴火山



桑托里亚火山口上的湖(大约3500年前形成的)，在爱琴海

这里有猛烈的暴发，有温度和压力的波动；这里有地震，有火山爆发；有的地方受到破坏，有的地方却在新生；这里有深层的岩浆、热的泉水和矿脉在冷却；而最后，这里又有人在生活，人在这里努力研究着自然，不断地和自然作斗争，想把自然征服；这里还有千百万种生物；这里化学分子的结合状态是最特别最复杂的；这里是生活、斗争和探索的地带，是新的作用和新的变化的地带!

怪不得地质学家把有生命的这个地带叫做对流层，意思是说有运动的地带。这个地带的化学生活非常复杂，正是这个地带里的化学元素的结合过程决定了地球本身在各个地质时代的全部命运。这是纯粹属于地球的化学反应的地带，而最妙的是，尽管有千千万万块陨石掉在地面上，成千上万的天体碎片落在科学家的手里，而这些陨石碎片当中，没有一块，哪怕是一小块也好，有像地球这个有生命有死亡的激烈变化的地带那样的一块也好。

人们对于地下深处化学上的概念便是这样，其实人实际上能够接触到的只限于几公里厚的一层薄膜。

但是人类的天才在缓慢而顽强的斗争当中，还是逐渐地扩大了认识世界的范围。

我们深信，不管是地下，还是高空，它们不但会被科学家抽象的想象战胜，而且终有一天会被技术战胜的。

我们现在有地球物理学上用的巨大仪器，那种装置能随着我们的意志来叫波透到地下深处，再在那里反射到地面，告诉我们那里的地层是怎样构造的。在乌拉尔和苏联南部的地下就曾经进行过巨大的爆破工作，结果给地层的认识打开了完全崭新的篇幅。许多精密的钻机，耐火的钻探管和钻杆，头上嵌着特别坚硬的合金制成的、有金刚石帽的钻头，这些工具都能顺利地用一班[1]钻进几百米的神奇的速度穿透坚硬的花岗岩，——所以我们相信，过不了几年，本来认为是技术成就极限的莫斯科的钻井，就会落在后面了。

人类控制地下好几十公里的深处，就会不只是美妙的幻想小说上的事，而是实际生活中取得的技术上的胜利。

认识世界是没有限度的，人的天才的胜利也是没有止境的!

地球史上的原子史

100 多年前，柏林大学有一位著名的自然科学家亚历山大·洪保德(1769 ~ 1859)，他从那时候没有人到过的美洲许多地方旅行回来，做了许多次演讲，他想向听众描述宇宙的那幅不同寻常的图画。

他以后把这些演讲里的思想阐明在一部叫做《宇宙》的集子里。他用做书名的这个原字是根据希腊文来的，这个字的原义

[1] “一班”大概是指轮班工作制中的一轮。——编辑注

不但表示宇宙的概念，而且表示秩序和美丽，因为这个字在希腊文里同样也指人类创造的世界和美丽的景色。

洪保德把宇宙想象成各种事实的总和。

他打算根据 19 世纪科学的成就，用自然界规律的统一性来说明宇宙的秩序，他想从他看到的真实情况里找出宇宙发展的复杂过程中有没有另外的因素。可是这一点他没有做到，因为他最后还是把宇宙分成了一个个自然界的王国。每个王国各有自己的代表，彼此间丝毫没有联系。

我们知道从前人把整个世界分割成几个小块，他们硬给矿物界、植物界和动物界这些“王国”之间划出了鸿沟。

而且那时候还在流行 17 世纪和 18 世纪的旧观点，把世界看成固定不变的，说世界是根据神的意志由大量互不依赖的“王国”组成的，所以尽管洪保德一心想表明全部自然现象间有互相连带的关系，他终究是心有余而力不足，因为当时还没有一些事实，没有一些证据，没有一个共同的单位可以拿来当做自然界各种现象之间相互关联的基础。

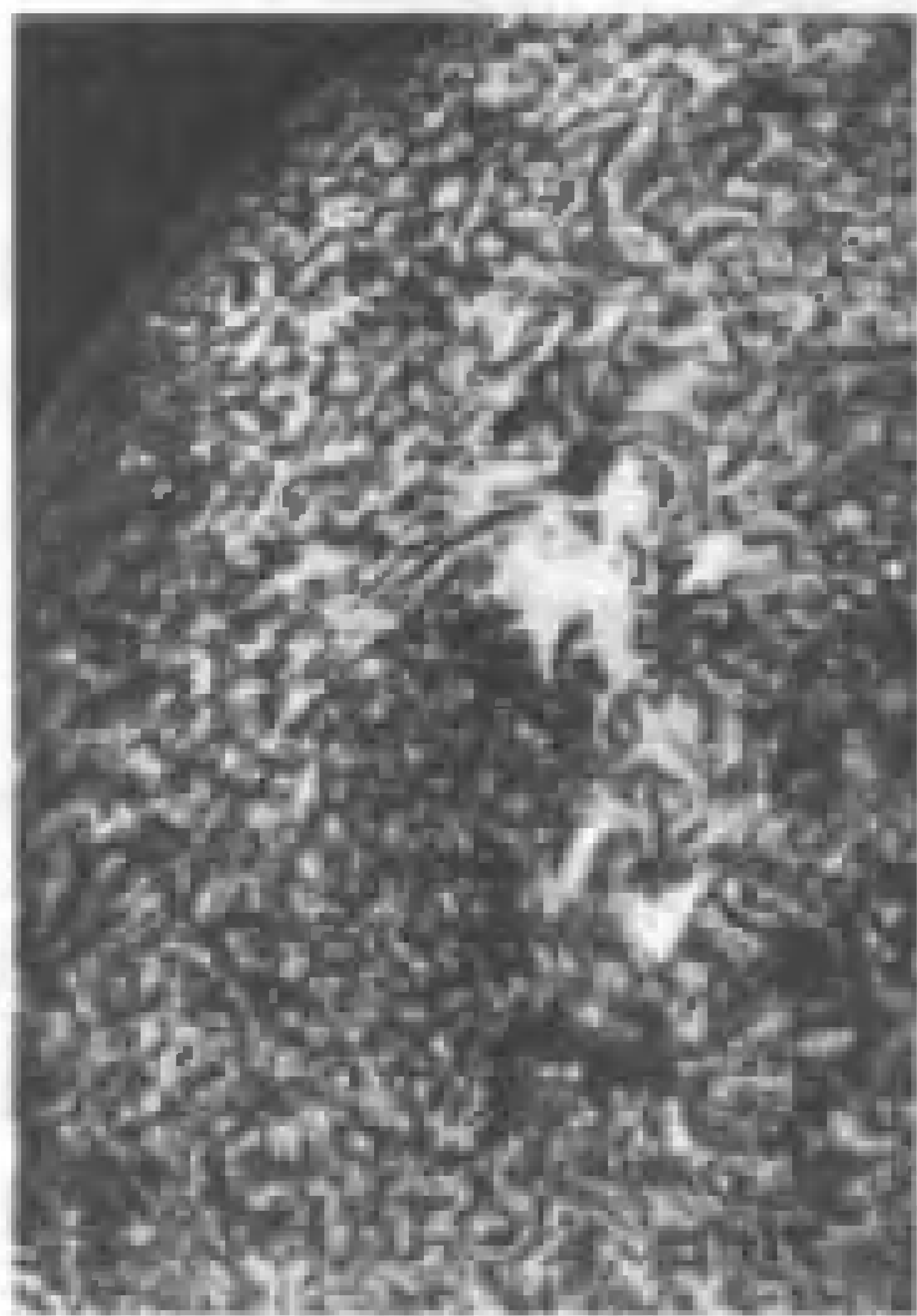
这共同的单位是什么呢?就是原子。所以现代对于宇宙的概念完全建筑在另外一个基础上。物理学和化学的严格的规律控制着自然界各种原子旅行的漫长而复杂的历史。我们已经知道，原子在天体的中心怎样失掉了电子，我们也知道，原子后来怎样逐渐变成复杂的结构，核外有像行星似的电子绕着核旋转。

我们还知道，这些电子的环状轨道是怎样互相交错包围的，然后在冷却的星体里出现分子，那已经是化学的结合状态了。接着又产生越来越复杂的结构；离子、原子和分子形成一个个晶体，那是构成世界的新的、奇异的因素，是高级的因素，从数学上和在物理学上看来都是完美的。拿石英做例子吧，它就是透明而纯净的晶体，古希腊人早就知道它，把它叫做“化石冰”。

我们已经知道，好看的晶体怎样在地面上长起来和破坏掉，晶体的碎片又怎样生成新的机械的系统——形成了胶体，那是原

子和分子的小集团。在这种胶体里的新型的复杂而巨大的分子是稳定的，这类分子里面含碳，就是我们所说的活细胞。

活物质发展的新的规律使得原子在它们的历史道路上的命运越来越复杂，它们先凝成复杂的菌丝体——半动物、半植物、半胶体的微小物质，用超显微镜才能勉强看出来，我们称之为过滤性毒，然后结成最初的单细胞生物，在普通显微镜底下已经很容易分辨这种单细胞生物了，它们就是那些细菌和纤毛虫类。



太阳表面的一部分，通过氢气燃烧的光照的像

我们周围一切元素的原子都经历过这些历史阶段，每一种原子都可以替它写一部生命史——从最初地球冷却的时候起到它旅行到活细胞里为止。

原先有个时候就像神话里说的那样，宇宙是一片混沌，从那里面产生出原子漩涡，它们发射出电磁波；于是就像天文学家说的那样，热运动逐渐停止，整个系统都冷却下来。

天文学家和哲学家当中，是谁，在什么时候，想解释这个过程，对我们说来倒并不重要；对我们说来重要的，只是这些漩涡是什么形成的，各种元素的原子是在哪儿结合起来的。

我们已经知道这种结构的成分。现代地球化学家进行研究，得出了辉煌的结果，告诉我们它大约含 40% 的铁，30% 的氧，15% 的硅，10% 的镁，2% ～ 3% 的镍、钙、硫、铝，剩下是少量的钠、钴、铬、钾、磷、锰、碳和一些别的元素。

从这个百分率来看，我们知道构成宇宙的主要元素都是稳定的，它们的原子是根据双数的规则来构成的，这在前面已经

讲过。

100种原子的漩涡乱成一团，当中有几种原子的含量很多，有几种原子的含量很少，少到只占一千亿分之几。

游离的气体原子慢慢地冷却下去，转变成液体；它们变成火热的熔化的液滴而彼此接近起来，它们进行的作用就像是熔化的矿石在鼓风炉里经历的过程。

鼓风炉炼铁过程说明

鼓风炉是一个巨大的建筑物——高到20米。它的上部是装炉料的。炉料包括矿石、焦炭和生成矿渣的材料，这样的材料用来降低矿渣的熔点和除去有害的杂质。炉顶的下面是一个极高的圆锥形的部分，叫做炉身；再往下是圆柱形的部分，叫做炉膛。熔化的金属——铸铁就积聚在炉缸里面。

炉膛的上部开着风口，焦炭燃烧所需要的高温的热空气就是从风口鼓进炉子里去的。炉膛的下部有两处开口，出铁的叫做出铁口，出矿渣的叫做出渣口。

风口面上的温度高到1200摄氏度以上。从风口上去，离风口越远，温度就越低；到了炉顶附近，温度不超过300摄氏度。可见，在鼓风炉内部不同高度的地方，温度各不相同，因而这些地方的矿石变成铁的作用过程也不相同。

鼓风炉下部的空气流非常强烈，可以使焦炭完全燃烧而生成二氧化碳。二氧化碳从这里上升，在路上遇到炽热的焦炭，就跟焦炭起反应而变成一氧化碳。

一氧化碳又跟铁的氧化物起作用，夺去这些氧化物里的氧而使铁还原出来。

这样生成的铁由于有焦炭存在，所以就“渗碳”而变成一种合金，里面含碳2%～4%。这种合金就叫做铸铁。铸铁是脆的。它还含有少量的硅和锰，这两种元素是跟铁同时从矿石里还原出来的。此外，铸铁里又含有硫和磷这两种有害的杂质，含量

都只有百分之零点几。

随着炉子里的焦炭逐渐燃烧掉，已经生成的铁也就逐渐下沉到温度比较高的地方而变成铸铁；然后铸铁像一股股水流似的流到炉膛的下部，容易熔化的矿渣就漂在液态铸铁的表面上。这些矿渣可以不时地从出渣口排出炉外。

每过一定的时间就要开一次出铁口，好让积聚在炉膛里的铸铁从凹槽流到大的铁水缸里去，再把罐运走。

鼓风炉一旦开始生产——也就是所谓"开炉"以后，就可以昼夜不停地连续熔炼好多铸铁。铁矿石、焦炭和生成矿渣的材料定时地从炉顶装到炉子里去。

为什么熔炼铸铁要用焦炭而不用煤呢？为什么还要用石灰石和沙呢？

焦炭就是事先加过热的煤，里面所有的挥发性物质都已经驱逐出去了。由于焦炭块是多孔的，所以它燃烧的时候不会粘结，既不妨碍空气和其他气体的流动，也不影响熔化了的铁流到温度特别高的炉子的下部去。可是炉子的下部不就是鼓进空气的地方吗？那么从矿石里还原出来的铸铁在这里遇到空气的时候为什么不会再被氧化呢？这正是由于溶解在液态铸铁里的碳以及砂和石灰石在高温下所生成的熔融状态的复杂化合物阻止着铸铁再被氧化。这种复杂化合物就是矿渣；矿渣包在铸铁滴的外面，能够防止铸铁跟空气接触。积聚在炉底的铸铁和矿渣，自己就会分开：矿渣比较轻，所以漂在整个熔化物的上层；铸铁比较重，沉在下层。因此，矿渣和铸铁可以分别流出炉外。熔炼出来的铸铁再放在另一些特别的炉子里来制造各种钢。[1]

想不到的是，关于地球构造的答案，不是理论家，不是地球物理学家找到的，而是冶金学家找到的；冶金学家善于提炼

---

[1] 鼓风炉炼铁过程的说明是编者写的。——编者注

金属，会处理矿渣，他们知道怎样在鼓风炉里灼热的地方掌握各种不同原子的命运。各种原子依照物理学和化学的定律互相分离开,原来的熔化物就分成层次。这时候一切元素都排列成一定的次序。轻的流动的部分往上走,漂到表面,而重的部分却沉到中心。

这样就聚集成了一个金属核。贴着核的外围往往是一层金属硫化物，再往外是一层像矿渣那样的硅化物的皮壳。地球物理学家告诉我们说，构成地球的各层，或者所谓地圈，正好是像鼓风炉里分布的各层熔化物。

从地面往下差不多 2900 公里的地方，就是铁核。这里聚集的金属也和鼓风炉里一样：主要是铁，其次是和铁同类的元素，是铁的最亲密的伙伴——镍和钴。

除去铁、镍、钴，铁核里还有几种元素，化学家把它们叫做亲铁元素，这个名字还是炼金术士提出来的，而 18 世纪的繁琐哲学家却曾经讥笑过这些炼金术士。这些元素是铂、钼、钽、磷、硫，它们无疑地和铁有相似的地方。我们所知道的地球最深部分的成分便是这样。

从铁核往上大概到离地面 1200 ～ 1300 公里是另一个地带。以前科学家对于这个地带的成分的看法不一致，所以发生过许多争论，可是没有疑问，它一定和炼铜或炼镍的时候炉子里生成的熔化物差不多；在有色冶金工厂里那种熔化物叫做“粗炼金属”。这是金属的硫化物。科学家常把这层 1500 公里厚的地圈叫做矿层，这也不是没有原因的。

矿层里聚集的是铜、锌、铅、锡、锑、砷、铋的硫化物。可是这些硫化物大部分也能在离地面比较近的地壳里发现。

矿层往上，是氧化物地带。这个地带还可以细分做几个层次。它的深处有大量含硅、镁、铁特别多的岩石。科学家研究这个地带比较晚，直到南非发现了一种管子似的金刚石大矿脉才开始研究它——这种管子似的矿脉里满是最紧密和最重的各种矿物，是熔化物从很深的地方涌上来以后结晶的。

从地球表面到地下 1000 公里左右这一层是硅的氧化物，我们就是在这一层上生活的。我们对于这个地层的实际知识才深到 20 公里，但是我们认为它的构造相当复杂，它包括各式各样的岩层和矿物。

拿成分来说，它和地球的平均成分差得很远，看下面的数字就知道：氧占 50%，硅占 25% 左右，铝占 7%，铁占 4%，钙占 3%，钠、钾、镁各占 2%，剩下的是氢、钛、氯、氟、锰、硫和所有别的元素。

我们早已说过，这些数字是经过成千上万次的计算和分析才确定下来的。我们随处可以看到，地球的这层硬壳的成分是很不均匀的，各种原子的分布情况非常复杂，所以我们很难正确地设想地壳构造的全貌，因为地壳里有的时候是粉红色发亮的花岗岩，有的时候又是暗色沉重的玄武岩，有的时候又是洁白的石灰岩、砂岩和杂色的页岩。而且在这个五光十色的基础上又乱七八糟地分散着金属的硫化物、盐类和许多别的矿物。从这个复杂的景象里，我们能不能找出什么原子分布的规律呢？还是根本不可能发现这块花地毯的构造的规律？



莫斯科列福托沃一所房子里的柱廊，是用莫斯科地下开采出来的砂岩造的

根据地球化学家近年来的成就，知道这个仿佛是偶然生成的世界，其实有非常精确的、相当严整的规律。地球化学家不但把硅的氧化物、把地壳跟地下火热的熔化物分别开，他们还区分各种原

子，缜密地研究每一种原子的动态。

我们的想法是这样：整个的熔化物和氧化物很像鼓风炉里流出来的矿渣，它们逐渐地凝结。然后从那里接连不断地结晶出各种不同的矿物。先结晶出来的是比较重的物质，沉在底下；比较轻的物质、气体和挥发性物质都往上跑。譬如，沉在玄武岩熔化物的底部的是含铁和镁很多的矿物；里面还有铬和镍的化合物，又是金刚石等宝石和贵重的铂族金属矿的源泉；至于往上走的是另一些物质生成的一类岩石，就是我们所说的花岗岩。花岗岩像是从整块岩石里挤出来然后冷凝的；正是它形成我们大陆的基础，它好像漂浮在一层沉重的玄武岩层上，这层玄武岩就铺在大部分的海洋底上。

物理化学上的严密的规律控制着原子在宇宙间的这种新的分布，自从地球化学采用这些物理化学的规律以后，科学上就透露出新思想的曙光。

花岗岩熔化物中心的冷却经过很复杂：过热的水蒸气和挥发性的气体从那里分离出来，透过它们周围的岩石，变成滚烫的水



1934 年 9 月 6 日夏威夷群岛上喷出熔岩，形成了熔岩湖

溶液，这种水溶液就跟我们熟悉的矿泉一样。这些炽热的气体和水蒸气包在花岗岩熔化物中心外面，仿佛月亮外面的一圈晕；含着各种挥发性物质的气体和水蒸气顺着逐渐冷却的花岗岩裂缝冒出去；它们像炽热的地下河那样流出来，一面逐渐冷却，一面在花岗岩裂缝的壁上结晶出矿物来，然后流出地面变成冷泉。



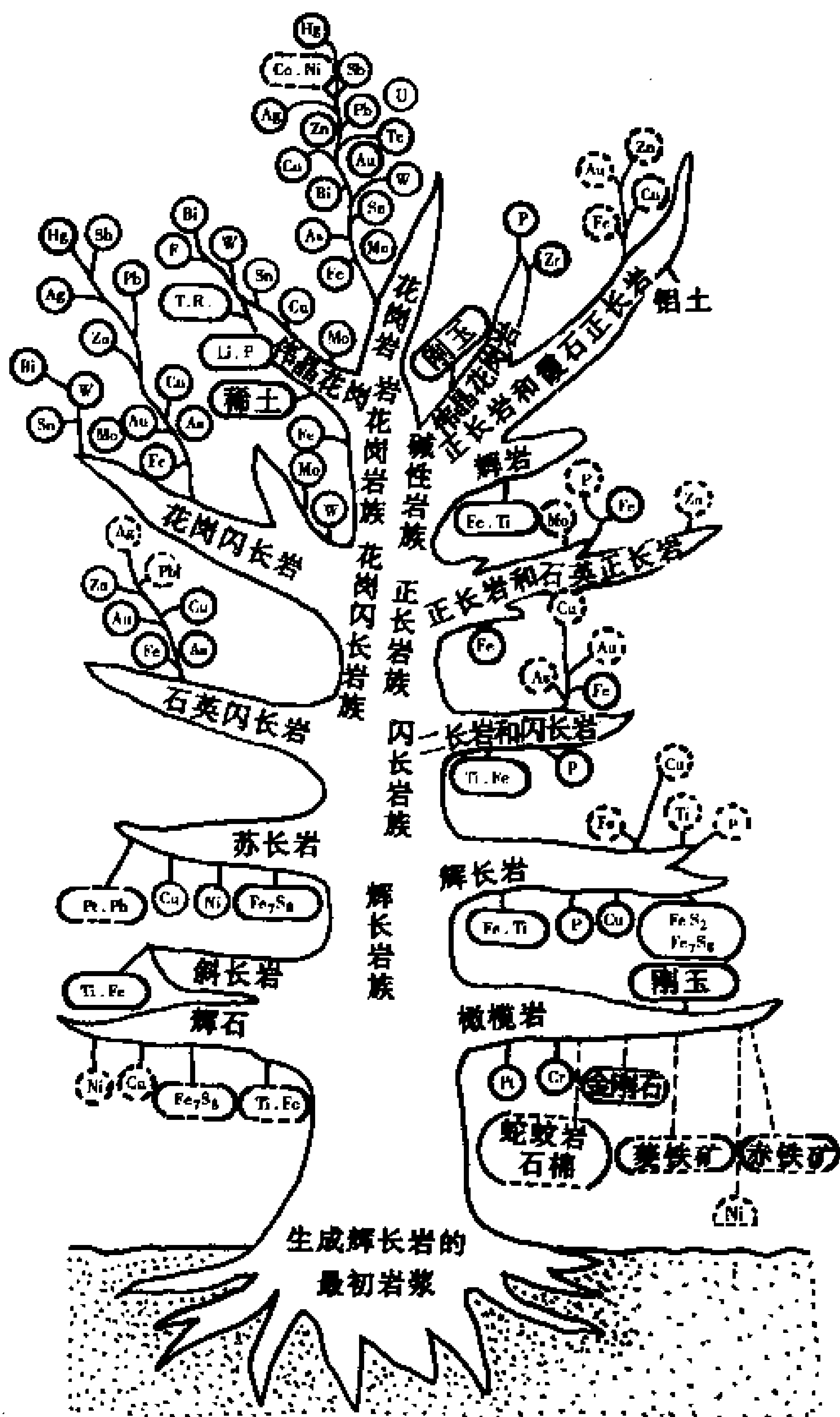
温泉，那里的水热得烫手

在冷却的花岗岩的晕里，我们首先看到有当初熔化物的残余；这就是著名的伟晶花岗岩矿脉，它含着放射性矿物的重原子。它又夹带着宝石，有闪亮的绿柱石晶体和黄玉晶体；它还含着锡、钨、锆和别的稀有金属的化合物。

在这个逐渐分层的复杂过程中，接下去是含锡和黑钨矿的石英矿脉，再下去又分出许多含金的石英矿脉的分叉，以后是多金属矿脉，有锌、铅、银的沉积物，而离开花岗岩熔化物中心已经



加利福尼亚已经熄灭的双峰火山，高 4300 米



跟最初的岩浆凝成的火成岩类有关的一些元素和有用矿物的分布图

很远的地方，离开地下深处沸腾着的花岗岩熔化物几公里远的地方，可以找到锑的化合物和硫化汞的红色晶体，还有火黄色的或者红色的砷的化合物。

这些矿物纯粹是根据物理化学上的规律分布的。如果它们是沿着地球很长的裂口凝固的，那么这些原子就聚集成长环或带，有规则地一层挨着一层，包围着花岗岩的熔化物。现在在地球表面已经揭露出来的这些矿物带，有一条从加利福尼亚地区起从北向南，贯穿南北美洲大陆，里面含铅、锌和银 另外一条沿南北方向穿过非洲全部。还有一条像花圈似的围绕着亚洲的坚硬岩层，长到好几百公里，里面有很多的矿石和有色的石头。

地球上各种矿床的分布，本来像是杂乱无章的，没有人懂得这样分布的原因，而现在在地球化学家看来，这已经变成一幅极有规律的原子分布的图画了。一切原子在地壳上的分布决定于它们各自的性质和动态，根据这个新发现的自然规律来进行研究，就可以解决许多实际问题，可以取得巨大的成就。

真正的科学规律代替了中世纪矿工的观察和矿山上旧式的实验，这些规律早在 16 世纪的时候，阿格里科拉就想过，他说



克里木顾尔祖弗岩盖的全景，背后是“熊”山

某些金属间有一种神秘的相亲相爱的关系。

杰出的俄罗斯科学家罗蒙诺索夫也说到过这样的规律，他在200年前看到不同的矿石在同一处发现，曾经号召化学家和冶金学家共同来研究这种平衡，研究这个原因，而且回答下面的问题：为什么锌和铅聚在一起，为什么有银的地方也常有钴，为什么镍和钴这两种金属会和奇异的元素铀同时被发现？

究竟是什么原因让各种原子在花岗岩里按照一定的规律来分布呢？这里有一种新的力量出现在自然界作用的舞台上；如果说地下深处是由原子的本性所制约着的基本的分离规律使那一团熔化物分出了核和矿渣，那么在这里已经有新的规律代替了那些规律了。

原子互相结合起来，不但生成聚集状态的游离的原子和分子，就是我们所谓液态或玻璃状态，而且还生成地下深处所没有的一种结构，那种结构在宇宙空间里，只有在行星际空间的寒冷把激烈运动的原子冷到2000摄氏度以下的地方才能生成。

这种美妙而和谐的结构叫做晶体，世界之所以这样匀称整



研究堪察加某火山的爆发情形

齐，就是因为有晶体的缘故。前面已经讲过，10^{22}个原子可以构成1立方厘米的晶体，这些原子彼此保持一定的距离，排在一定的点上，形成像格子和网格的样子。地壳上层的薄膜全部是由晶体构成的；我们看看我们周围的一切，绝大多数也是由晶体构成的。

晶体和晶体的规律决定着元素分布的状况，晶体里的元素往往是可以互相替换的：有一部分元素能在晶体内部移动，可是另外一部分元素却受极强的电力的吸引，彼此束缚得非常紧密，这样的晶体特别坚硬，有很高的机械强度，宇宙里一切对它有害的力量都不能破坏它。

那里，在天体的内部深处，是原子的无秩序的混沌状态；而在这里，在地面上，却再也没有那种混沌状态，而是排列成无数的点和网格，它们排列得井井有条，就像是镶嵌地板，又像大厅里的挂灯。

现在我们已经讲到地球的表层了。地球中心对于地面上原子的生活是鞭长莫及的，只得让位给太阳和宇宙射线去影响这些地面上的原子了；原子在这另一种形态的能量的影响下，就依照物理化学和结晶化学的规律而重新移动起来。

50年前，道库查耶夫(В. В. Докучаев)在彼得堡大学讲课，他对于土壤在地球表面生成的规律阐发了卓越的见解。他说气候、植物和动物决定着各种土壤带的形成，同时也决定着土壤层里各种物质原子的不同的分布。他把土壤层看做原子的新的、独特的世界。

道库查耶夫有一句口头语："土壤是自然界的第四王国"。

道库查耶夫不但认为土壤的肥力服从这个独特世界的规律，而且认为人的生活也受这个规律的支配。

然而正是在地面上，在地球的这层薄膜上，原子显得格外复杂。晶体在地下深处安安静静地产生，产生的经过很单纯，很清楚，可是要在地面上产生晶体就不那么简单了。

复杂的地理景观约束了原子本身的活动，再加上气候的不断

变化、季节的变迁、昼夜的变化、生物的作用——这一切都给原子烙上了痕迹，促使原子去寻求新的平衡的方式，要求新的稳定的环境。

地底下是安静的，晶体在安静的条件下产生，可以分布很广；然而地面是变化很剧烈的世界，这里有相反的因素在发生影响，有各种力量在进行斗争，有温度的变化，还有破坏的作用。这里精确的晶体结构比较少，而是晶体的碎屑占着绝对的优势，这种碎屑是一种新的、动态的系统。我们把这一类碎屑叫做胶体。

地下深处秩序井然的世界和地面上混乱的像肉冻似的胶体世界发生了矛盾。我们周围的自然界转眼就起变化，化学反应在这种环境里不可能像在地下深处那样安静地、按部就班地进行。晶体刚一生成，突然又受到破坏而变成另一种晶体。有时候晶体的碎屑重叠成一片，生成的大颗粒有时是由成千上百个原子组成的，再从这种大颗粒里出现新型的物质，就是凝冻状的、不稳定的胶体，这类物质我们在有机世界里是很熟悉的。

地球表面上的矿物不仅受到破坏的力量，在它们里面也蓄积起巨大的积极的力量，在它们里面含着比死的、稳定的晶体里更多的能量。

在我们周围的粘土、褐铁矿、锰矿里，在铁、铝、锰原子各式各样的结合状态里，在各种磷的化合物里，到处都有种种新的力量在参加作用，这些力量是由于接触不同的外界环境而产生的，这些力量到处乱成一团，这里是一面破坏一面建设，这里产生新的规律来决定土壤的性质，让各种金属容易移动，让金属能够在土壤层里互相替换。

这样我们就逐渐进入原子史的最后阶段——生命的过程了。胶体已经替创造新的系统准备好了条件：胶体里的分子结合成复杂的系统，蕴藏着巨大的表面力量，于是产生了新物质的萌芽。这就是活细胞。



时间的道路，图示地球史上的造山运动和生物的进化

活细胞是特别的、柔软的结构，原子在那里一会儿结合，一会儿分离，结果出现了生命；生命的出现是原子系统变得越来越复杂的天然发展的结果，是合于逻辑的成就。生命在它极其复杂的进化过程中只能像我们上面所说的那样继续发展。生命属于原子的另一种集合形态，它使原子的结构越来越复杂，从最小的单细胞生物起一直进化到人，生命现象已经变成了地面上的主要现象了。

我们现在决不能把周围环境的任何一部分割裂开来。生命已经和沉静的大自然、空气、水融成统一的整体，我们周围有许多地理景观就是生命现象的产物。这是原子系统的最高形式，是进化规律和有机体发展的结果。后来出现了思想家，发现了关于能量的一些极有力量的规律，这些规律替一个新的体系奠定了基础，这个体系虽然还不太稳定，可是比较强大，而且比较活跃。

这样，在原子的旅行史上，我们看到它的命运逐渐变得越来越复杂。

起初只是带电的自由的质子，后来形成了原子核。

以后就开始变得更加复杂，它越往宇宙空间的冷处去，原子的电子层也就越容易回到原子的外围上。这样才生成原子。原子彼此结合在一起，生成有规则的、整齐的几何图形，就是我们所说的化合物。

晶体就是这类化合物的代表形式，这种形式最有秩序，结构最匀称，储藏的能量最少，因而也是最死板的形式，是物质失去了活动力量的形式。可是原子、分子的复杂的胶体系统也是从这里开始的。

从胶体又产生活细胞；成百成千个原子开始组成复杂的分子；出现了化学上到现在还没有完全研究清楚的物质最高形式——蛋白质，使得我们周围的有机世界显得那么多种多样，那么复杂深奥。

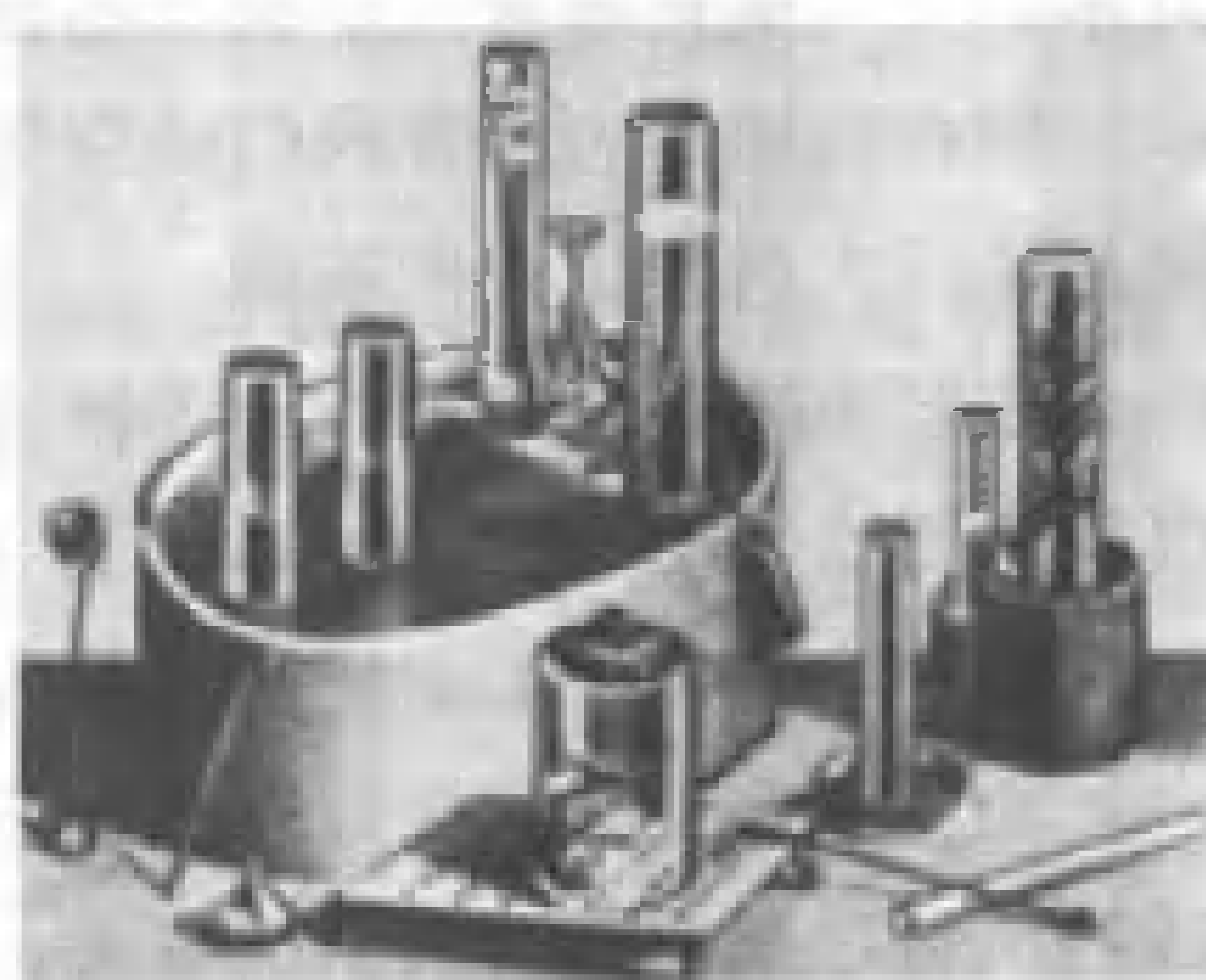
可是原子在我们这个大自然的历史上始终是在不停地东奔西

窜着，在寻求着新的形式。我们现在还不敢说，是不是另外还有比晶体更稳定的新的平衡形式，是不是还有比活物质含的更活泼、更多的能量。我们对于原子旅行的新路线的知识很贫乏，我们对于自然界的一切概念也就显得不完整，所以谁也不敢肯定说：我们对于原子旅行的全部路线已经彻底了解，我们已经会运用原子里潜藏的巨大力量了。

空气里的原子

什么是空气？我们对于空气想得多么少，我们对于这个问题甚至多么不感兴趣！空气包围着我们，我们感觉很习惯；因为我们都是健康人，除非我们得不到空气，除非我们周围的空气不够，那时候才知道空气是宝贵的。

我们知道在高空呼吸是多么困难，有些人在 3 公里高的地方就会患高山病，他的身体开始衰弱起来；我们也知道，飞行员驾着飞机飞到 5 公里以上是多么难受，如果他飞得再高，高到 8 公里和 10 公里，那时候可以肯定说空气已经不够了，他不得不吸入飞机上带着的氧气。


普利斯特利在 1774 ~ 1790 年研究空气成分用的仪器

我们知道，下到很深的矿坑里去是多么痛苦：空气在地面下 1500 米的地方压力很大，耳朵里长时间地听到嗡嗡的声音，你就得习惯于那种环境。

在今天，空气不但是科学上最重要的问题之一，在化学工业上也是这样。

以前有一段很长的时期，谁也不明白空气是什么东西。有那样一种思想在初期的化学上占了好几百年的统治地位，大家相信空气的成分是一种特别的气体，叫做燃素，说是某种物质一燃烧就放出燃素，说燃素是一种特别微妙的物质，充满着整个世界。

后来由于法国化学家拉瓦锡的天才发现，才明白空气里含有两种重要的物质———种对于生命有帮助，叫做氧气；另一种对于生命没有关系，给它起的名字是氮气。

1894 年，发现空气的成分很不简单，这次发现纯粹是无意的。原来对于生命没有帮助的氮气竟还混杂着许多比较重的别的元素，这些元素在空气里起的作用都很大。

下面是现代物理学家测定的空气的成分(质量百分数)：

氮气	75.5%	氖气	0.001 25%
氧气	23.01%	氦气	0.000 07%
氩气	1.28%	氪气	0.000 3%
二氧化碳	0.03%	氙气	0.000 04%
氢气	0.03%	水蒸气	不固定

现在我们对于空气海洋的成分已经分析得那么精确，连 1 立方米的空气里只藏着一小滴别的物质，也瞒不过我们的化学家。

现在知道，包围着我们的空气海洋不但是一切生命的基础，而且是巨大的新工业的基础。

根据英国最近的统计，英格兰和苏格兰的居民一昼夜要从空气里吸走 2×10^7 立方米的氧气，而用特别的机器装备一昼夜从空气里抽出来供给工业使用的氧气，也有 10^6 立方米。

而且工业上一定要烧煤和石油，也需要氧气，同时把燃烧生成的大量二氧化碳送进空气里去。这种作用同样也在生物体里进行。例如，人每天差不多呼出 3 升的二氧化碳气体。

要懂得这个数字的意义，只要了解一棵大桉树每天分解二氧

化碳，把游离的氧气送回给空气，这些分解的二氧化碳的分量大约相当于每个人呼出的二氧化碳的1/3。结果，3棵大桉树分解的二氧化碳，才抵得过1个人呼出的二氧化碳，才能使空气恢复原来的成分。



格鲁吉亚科尔希达低地中央部分国营农场里的桉树林荫道

可见我们周围的植物有多么重大的意义，所以我们要在城市里栽种植物，要特别爱护植物。只有植物的生活才能把人吸走的氧气还给空气。何况氧气的用量在不断增加，我们怎能不重视植物呢！

1885年，有几个小工厂用氧气来制造过氧化钡，这是第一次利用空气里的氧气。现在呢，空气里的氧气成了好多化学工业部门的基础；钢铁厂已经不用空气而用纯粹的氧气打进鼓风炉里去；氧气对一些化学过程来说是独一无二的氧化剂。

把我们周围的空气变成液体，再从液体空气里提出氧气的机器装置，也一年比一年多。

人不但使用氧气，空气里别的气体的用途也越来越广。

还在不久以前，含在空气里1%的氩气在工业上丝毫不起作用。而现在使用复杂的机器装置，每年能从空气里提出100万立方米左右的这种稀有气体。

你们有许多人大概还不知道，每年用氩气填充的电灯泡在10亿个以上。

大城市里用特制的电灯做广告来引人注意，结果空气里另一种稀有气体的用量就逐年增加，那就是氖气。氖气在空气海洋里的含量很少很少——55 000份空气里才有1份氖气。可是氖



飞机场上的氖气管灯塔

气工业还是每年在发展和扩大。

人们又从空气里提取氦气。氦气最早是在太阳上面发现的，它在空气里的含量比氖气更少，虽然每平方公里地面的上空差不多有 20 吨的氦气。它的来源除了空气以外，主要是从地下喷出的气体里收集，人们广泛地用氦气填充飞艇，工业上用氦气可以得到世界上最低的温度。

不但前面 3 种稀有气体，连氪和氙那样特别稀罕的气体，也开始走进了工业大门。

氪气在空气里还占不到 $1/10^5$，氙气更少。然而我们还要重视这两种气体，还得大量提取它们，因为把氪气装在电灯泡里，能让电灯泡多亮 10%，氙气能让电灯泡多亮 20%。这不就是让我们的照明设备少消耗 10% 或 20% 的电力吗?

当然，空气里最重要的工业原料是氮气。

人们初次试用氮的化合物做肥料是在 1830 年。

那时候谁都没想到利用空气里的氮气，连用船从智利装运来的硝石也还不一定能在西欧贫瘠的田野里当肥料使用。后来发现氮、磷、钾是维持植物化学生活的必要物质，于是想起来用化学肥料，各国竭尽全力寻找这 3 种物质的来源。既然对于氮的需要是那样迫切，所以 1898 年物理学家兼化学家克鲁克斯在谈到氮的来源恐慌时，提议另想办法从空气里提出氮气来。

过了没几年，化学家真的想出了办法，用电火花把空气里的氮气变成氨、硝酸和氰氨。

第一次世界大战期间，炸药工业特别需要氮气，氮气成了多少国家追求的目标。现在全世界的氮气工厂在150家以上，它们每年从空气里提出的氮气有400万吨。可是这个数字很不算什么，因为氮气在空气里的含量多得很，大约占到空气体积的81%。

这只要指出下面这一点就够了：全世界氮气工厂每年从空气里提走的氮气分量，大致相当于0.5平方公里地面上的空气里所含的分量。

以上就是空气在现代工业上的使用情况。工业上现在还正在深入研究，想充分利用空气海洋的每一种组成部分。空气几乎是取之不尽用之不竭的，它可以变成矿物质原料的庞大源泉，但是怎样来掌握这个宝藏，眼前还没有完全想出。

现代所用分离空气成分的方法还很不完备。要提取氮气，就要很大的压力，又要消耗大量的能。分离各种稀有气体和提出氧气，都得用贵重的复杂装置，先要把空气变成液态，然后把它们一个个分开。近年来苏联在这方面已经有了辉煌的成就。

苏联科学院物理问题研究所已经发明了一种很好的机器，不但能够大量地分离空气的成分，而且能够把它们分离得非常纯净。

我们现在来讲一种比较小的机器，这种机器可以装在房间里。一通电，轮机压缩机就转起来，这时候打开龙头，——龙头上写着“氧”字，——流出的就不是空气，而是冷却到零下200摄氏度的淡蓝色的液态的氧。

打开另一个龙头，就有液态的氮气或氩气一滴滴地流出来，而另一个容器的底部聚集着一种物质，很像炉子里的灰，这是固体的二氧化碳；把固体的二氧化碳放进特制的压榨机，压出来的就是干冰，用来保藏冰淇淋，或者在热天用来降低屋子里的温度。

也许我的思想比实际走远了一步。现在实际上还没有那样的袖珍机器，只要把电插头一插就会制出液态氧等等，可是我相

信，不久我们就会利用空气的富源来满足我们的需要，会建立起巨大的化学工业，来利用氮气和氧气这两种在地球生命上有突出意义的元素，利用空气里这种取之不竭的宝藏。

这一章本来可以到此结束了，可是我想，我的话还没有说完，还有很重要的一点没有说。

空气里还有二氧化碳，燃烧煤、木柴和煅烧石灰石还生成各种气体，可是我对于它们的用途还一个字没有提。

从工厂跑进空气的废气——二氧化碳的数量非常庞大。有人建议利用这些二氧化碳来造干冰，想把空气里所含 $3/10^4$ 的二氧化碳都提出来。

物理学家想得更远：他们说，空气里不但有我们讲过的那10种气体，还含着大量更稀少、更分散的气体，它们的含量是一亿分之几，是一千亿分之几，这就是放射性气体。

这就是镭射气和轻金属蜕变放射的各种气体。这些气体在空气里存在的时间都不长：有的几天，有的几秒，有的还只有百万分之几秒。全世界原子核分裂以后产生的这类气体都充斥在空气里。宇宙射线到处引起原子分裂，先出现不稳定的气体，再逐步变下去，变到生成比较稳定的固体物质为止。



闪电的照相

空气海洋里不断地发生着化学反应。物质的分散的原子相互间不断地进行极其复杂的作用，对于我们周围的空气海洋里发生的经常而复杂的变化，对于这种放电现象，我们所知道的还不多。

把这些谜解开，就等于在征服自然界使它顺从我们的需要的

道路上又前进了一步。

水里的原子

泉水、河水、海水、地下水合在一起，共同构成地球上不间断的一层水，叫做水圈。在一望无际的海洋面上，由于太阳的照射，由于热的作用，水不断地蒸发掉。

水蒸气在空气里凝结，再变成雨点、雪花和雹子掉到地面上。掉下来以后冲刷土壤，渗透土壤，冲毁岩石，大量地溶解各种物质，把这一切重新带到海洋里去。

水便是这样来回地循环：海洋——→空气——→地球——→海洋。每循环一次，岩石里能溶解的物质就总有许多被带走。

有人算过，全世界的河流从陆地带到海洋里去的溶解物质，每年差不多有 30 亿吨。换句话说，每 25 000 年给水破坏了带到海洋里去的地层，有 1 米左右的厚度。

水在地球上的作用真是大极了。

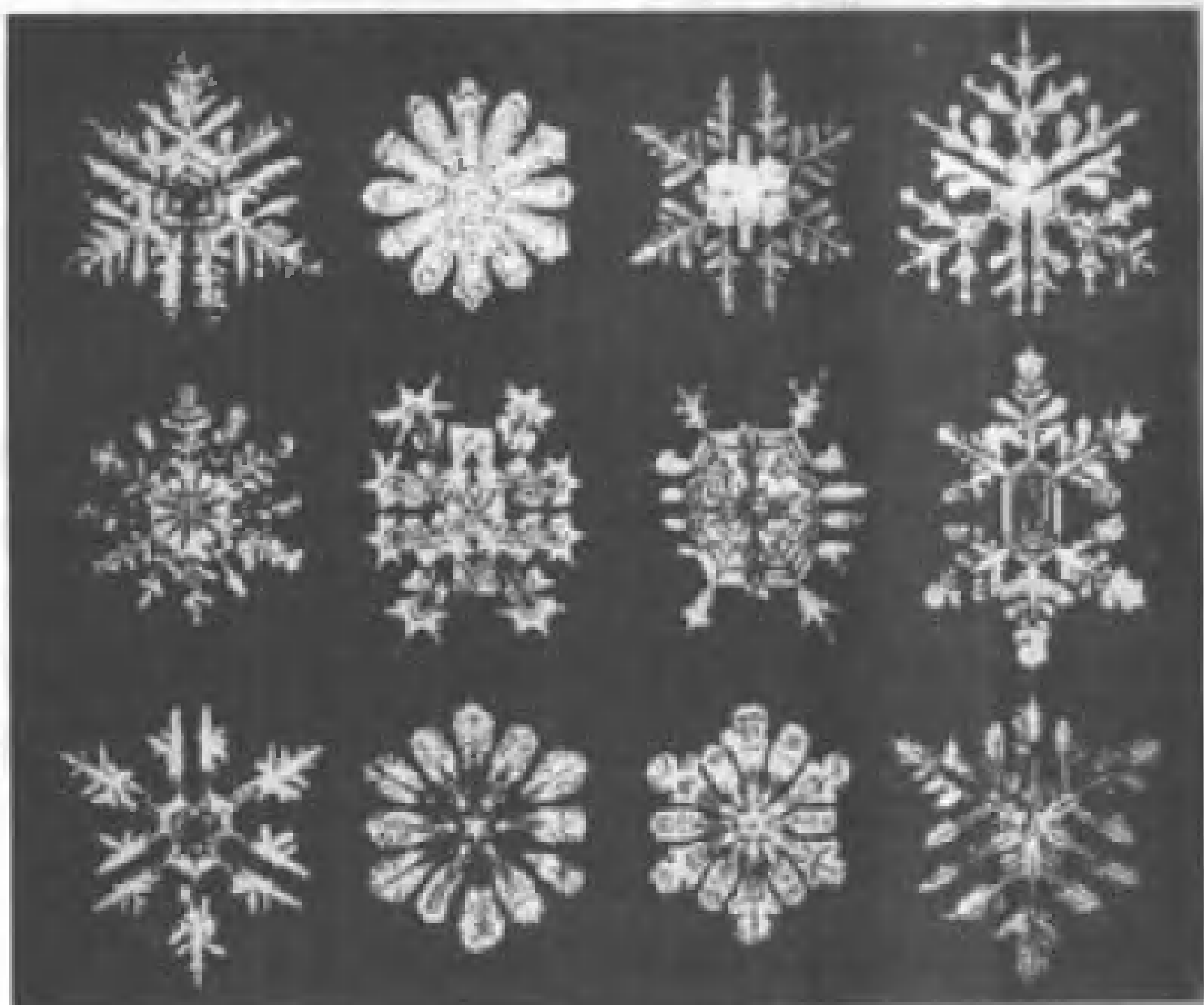
水的化学分子式是 H_2O，它是地球上分布最广的物质之一。全世界海水的总体积是 1.37×10^9 立方公里!

水在地质史上的意义，因之也就是在地球化学上的意义，的确是非常大的。

这就是为什么地质学上有过一种假说，说是地球上一切岩石都是在水里长出来的。

这个假说叫做水成论。水成论者和火成论者曾经争辩得很厉害。据火成论者的见解，地球上一切岩石都是地下的熔化物喷到地面上来凝固生成的。

现在我们知道，水和火山这两种力量都参加过岩石的生成作用。



雪花的结晶形状



冲刷以后形成的奇形怪状的沉积岩

不含任何杂质的水，或者说，没有任何别的物质或盐类溶解在里面的水，在自然界里可以说是没有的。这意思是说自然界里没有蒸馏水。连雨水都含有二氧化碳，含有极少量的硝酸、碘、氯和别的化合物。



美国尼阿加拉瀑布

制取化学纯粹的水，不说不可能，至少是困难得很。空气里的各种气体，盛水的容器的内壁，虽然在水里溶解得很少很少，但是毕竟能够溶解一些。譬如拿银器盛水，就有十亿分之几的银溶解在水里。喝茶用的银匙总有极少量的银跑到水里去。这样少的银，化学家是几乎查不出来的。可是像水藻一类的低等生物，却会因此死掉，这类低等生物对于存在水里的极微量的银和另外几种原子是非常敏感的。

天然水顺着沙、粘土、石灰岩、花岗岩等等各式各样的地面流走，当然会从这些物质里带走好多种化合物。有些科学家说，只要知道河床是什么成分，就能回答河水是什么成分。

以前讲过，铝硅酸盐在自然界里分布很广，可是天然水却照例不含大量的铝和硅。如果水里有铝和硅，那主要也是成混浊状态，成机械的混合物。而另一方面，一切河水海水都含碱金属——钠和钾，还有镁、钙和一些别的元素。这是怎么回事呢?

原来是这样：溶解在水里的盐类，水的化学成分与盐类在水里的溶解度有非常密切的关系。最容易溶解的化合物，正是天然水里最常见的成分。我们早已讲过，钠、钾、钙、镁、氯、溴和几种别的元素的原子往往是天然水蒸发以后留下来的盐类残渣里的主要成分。



亚速海岸

饱含着盐类的水——天然盐水——含的也正是这些很容易溶解的原子的化合物，这些原子就是从岩石里冲洗出来的。

可见海洋是一切能够溶解的盐类的收容所，由于水在陆地和海洋之间不断循环，这些盐就从地球存在的那天起逐渐聚集在海洋里。

科学家曾经计算过海洋里溶解了多少盐，计算过全球的河流每年冲到海洋里去的盐有多少。根据这些计算出海洋的年龄，或者说是海水要含有现在那样多的盐需要多少年。可是得出的数字并不很可靠。

总而言之，容易溶解的盐是天然水里主要的化合物。海水含盐 3.5%，其中 80% 是氯化钠，这就是我们大家都知道的食盐。谁都知道食盐很容易溶解。一切别的能够溶解的化合物在水里的含量都很少。不管是海水、河水还是地下水，任何天然水里都能找出很多化学元素来。问题在于我们用的方法完善到什么样的程度。

假如想一想，化学元素差不多一共有 100 种，那就很容易设想，天然水的成分可能会多么不同。科学家根据成分也的确把天然水分成了好多种。

海水，不论是什么地方的海，也不管是深海、浅海(但是要离海岸远)，它的成分总是非常固定的。

各种化学元素在各处海水里的含量非常严格。河水的成分却不太固定，不过彼此也很接近。河流流过不同的岩层，流域的气候又不一样，这些条件都可以在河水的成分里找到反映。例如，北纬度地方的河流含的铁和腐殖土比较多，这些河流甚至常常染上这些物质的颜色。中纬度地方的河流主要是含钠、钾、硫酸盐

和氯。更热的地方，特别是河流不流进海洋的地方，河水里以及更常见的是湖水里常常含盐很多。

正像从地区的不同可以看出水的成分的变化，从深度看也能看到地下水成分的改变。地下水越深，它的成分就越和盐水接近。成分变化最多的是地下的矿水，矿水时常冒出地面而成矿泉，许多矿泉可以治病。



美国黄石公园里的间歇喷泉

矿泉有含钙的，含溴和碘的，含镭的，含锂的，含铁的，含硫的，含镁和硼的，还有含别的元素的。根据各种矿泉的名称，就知道溶解在它里面的主要成分是哪一种化合物或元素。

这些矿泉的成因，和矿层在地下水里的溶解作用有关系，也和不同成分的岩石被地下水渗透的作用有关系。

根据这些矿泉的化学成分来说明它们的生成经过，这是科学上有趣而且是非常重要的任务。地球化学家和水化学家现在都在研究着这个问题。

我们现在来看看下面列出的一张海水成分表(表里的数字是质量百分数)：

元素	质量百分数	元素	质量百分数
氧	86.82	铝	0.000 001 1
氢	10.72	铅	0.000 000 5
氯	1.89	锰	0.000 000 4
钠	1.056	硒	0.000 000 4
镁	0.14	镍	0.000 000 3
硫	0.088	锡	0.000 000 3
钙	0.04	铯	0.000 000 2

钾…………0.04　　铀…………0.000 000 2
溴…………0.006　　钴…………0.000 000 1
碳…………0.002　　钼…………0.000 000 1
锶…………0.001　　钛…………0.000 000 1
硼…………0.000 4　　锗…………0.000 000 1
氟…………0.000 1　　钒…………0.000 000 05
硅…………0.000 05　　镓…………0.000 000 05
铷…………0.000 02　　钍…………0.000 000 04
锂…………0.000 015　　铈…………0.000 000 03
氮…………0.000 01　　钇…………0.000 000 03
碘…………0.000 005　　镧…………0.000 000 03
磷…………0.000 005　　铋…………0.000 000 02
锌…………0.000 005　　钪…………0.000 000 004
钡…………0.000 005　　汞…………0.000 000 003
铁…………0.000 005　　银…………0.000 000 004
铜…………0.000 002　　金…………0.000 000 000 4
砷…………0.000 001 5　　镭…………0.000 000 000 000 01

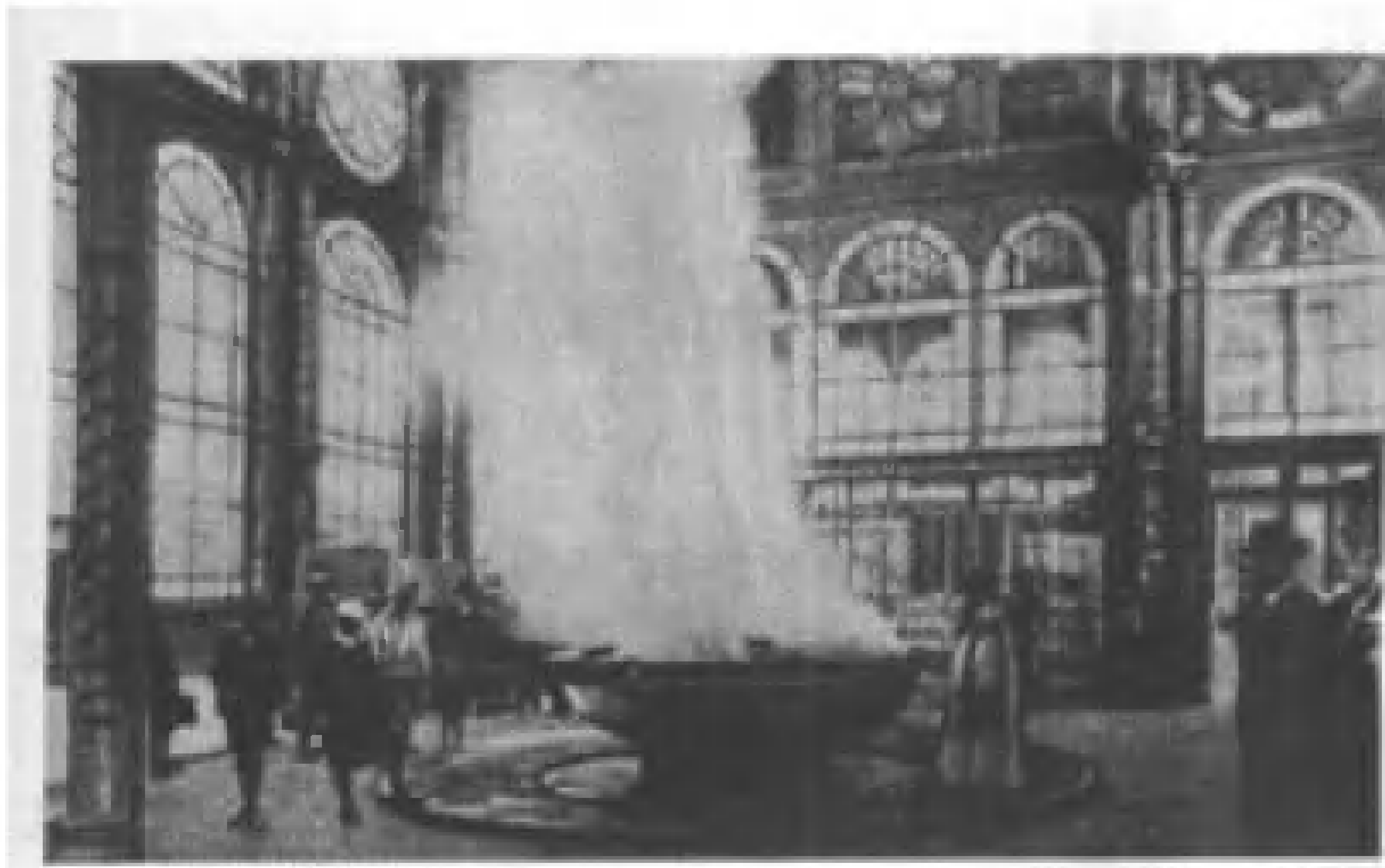
从表里知道，前 15 种元素占海水总质量的 99.99%，剩下的 74 种占 0.01% 左右。

可是它们的绝对数字也不算少，譬如金在海水里的总数有上百万吨。

科学家好几次想设立一个理化工厂，专门从海水里提取金子，但是到现在为止还没有实现。

海水的特点是含溴、碘，当然还有氯含的很多，这些都是我们很需要的元素。海水里的碘被海藻和别的海洋生物所摄取。我们工业上用的碘主要就是从海藻里提取出来的。

海藻一死，碘就钻到海底的淤泥里。海底的淤泥又逐渐变成岩石。水从这样的岩石里挤出来变成岩层水。碘也随着混在这种



捷克斯洛伐克卡斯巴著名的“什普鲁捷尔”喷泉 泉水的温度在75摄氏度左右，喷高达9米

岩层水里。钻井采石油的时候常常遇到岩层水，里面碘和溴的含量都不少。人们现在已经会从这样的岩层水里提出碘和溴来。海水里溴的含量是无穷尽的，许多地方都在直接从海水里提取溴(镁也可以这样提取)。

钙原子在天然水里的历史特别有趣。天然水常常含有过多的钙离子，那时候水底就沉淀出碳酸钙来而生成石灰石和白垩。

二氧化碳在钙的历史上起了很大的作用。二氧化碳过多的时候，碳酸钙会溶解在水里，二氧化碳不够的时候，碳酸钙又从溶液里沉淀出来。我们还记得，绿色植物会吸收二氧化碳，明白了这一点，那么绿色植物对于水里的钙的沉淀起了什么作用也就清楚了。实际上就是这样：热带海洋里的大岛——环礁，就是致密的碳酸钙，是海生植物营生活作用的结果而沉积起来的，当然也有海生动物的石灰质骨骼在里面。

我们举出这个例子，为的是说明水里的生物对于天然水的成分也有很大的影响。

如果不了解这种“活物质”对于天然水成分的作用，那我们就不可能完全想象出那些使河水、湖水、海水变到现在的成分的

一切过程。

地球表面的原子，从北极地带到亚热带

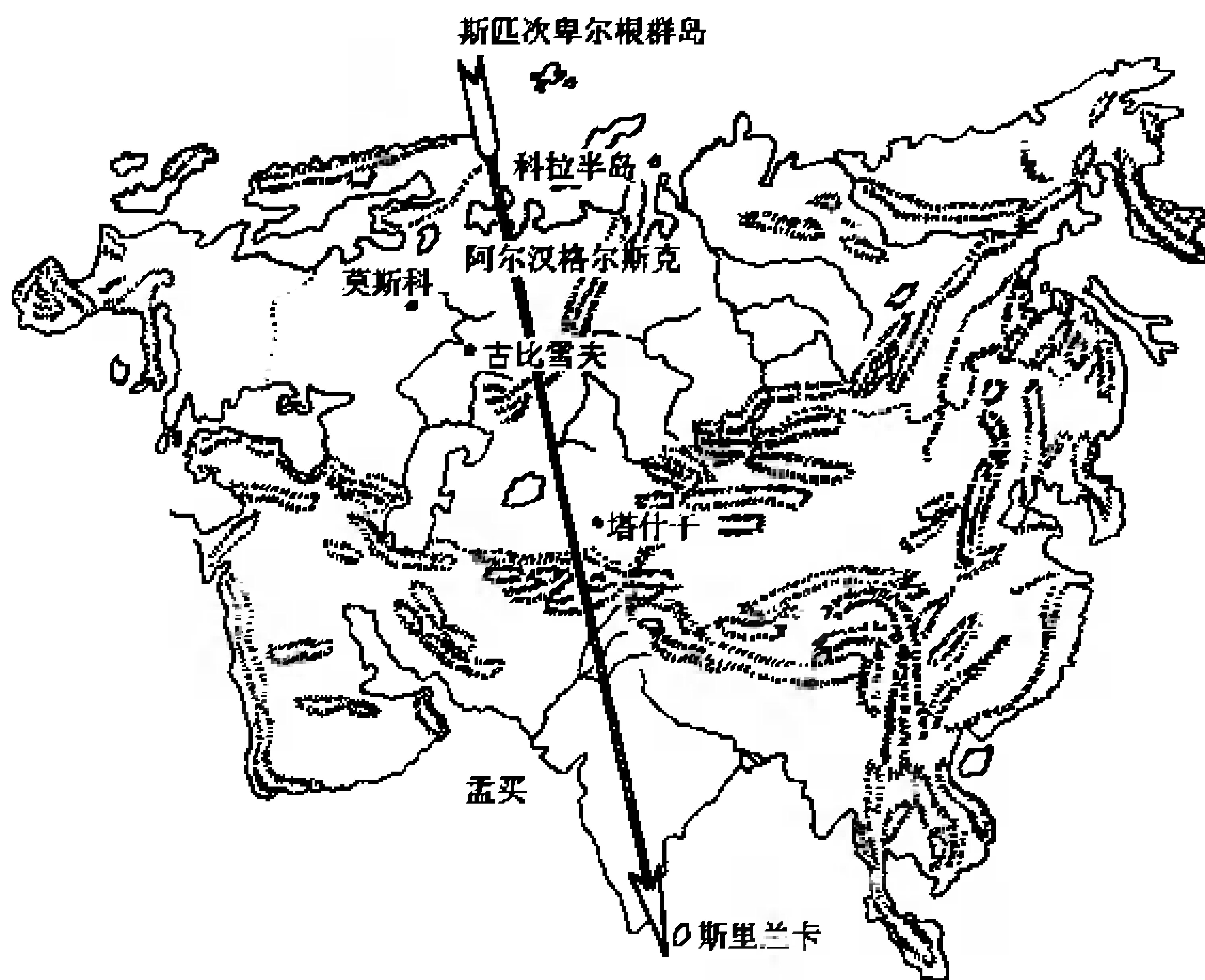
我小的时候从莫斯科往南到希腊旅行过一次，那次旅行是我童年的回忆里一辈子忘不了的事情，我们越往南走，看到的景象就越美丽。

我记得那天莫斯科天气晴朗，看出去是一片灰色土壤，在这俄罗斯灰土地带里有灰红色和褐色的粘土。忘不掉的是敖德萨附近的黑土地带，春天南方的阳光照射在黑土上，黑土反射出鲜艳的光线，更显得五光十色。我记得这幅图画在我们走进博斯普鲁斯海峡以后就改变了，在那里我们看见一片蓝色的水和葡萄园里的栗褐色的土壤。最后我看到了希腊南部的风景——深绿色的松柏科植物，雪白的石灰石里夹杂着红色的土壤和红色的氧化铁的被覆物，这些景色还像在眼前一样。

一路上这些颜色的变化给我的印象深极了，我记得我曾经坚决要求父亲给我解释为什么天然景色会有这么多变化。可是过了许多年我才明白，原来那一次展示在我眼前的正是地球表面最伟大的规律之一，那是化学上氧化作用的规律，而氧化作用在不同的纬度上是进行得这么的不一样。

从那时候起我在苏联旅行了许多次，从整片的大密林、大平原、苔原和北冰洋地带，一直到“世界的屋脊”帕米尔积雪的高峰，我都走到了。每一次我都看到，从极北的北极地带到炎热的亚热带，在各个不同地带的各种不同的化学反应，看到地面上的原子的不同的命运，而且我所看到的这种变化的规模比到希腊去那一次所看到的大得多。

请看下面这张小地图，我们顺着箭头从斯匹茨卑尔根群岛到



印度洋的斯里兰卡来旅行一次。

斯匹茨卑尔根群岛也叫做斯瓦尔巴群岛，在这个古老的群岛四周冻满了整片的冰，这是死寂的冰漠。这里没有任何化学反



阿拉斯加冰川的尽头

应，岩石并不崩毁成粘土或沙，严寒侵透到地下深处，岩石的碎屑堆成所谓崖锥。只有鸟儿飞聚的地方有时候堆集一些有机体的残余。在一片冰野里，磷酸盐几乎是惟一的矿物。


北极地带的景观。地质学家驾着狗在北地岛上赶路

略往南到苏联的科拉半岛或者乌拉尔极区，就有化学反应在缓慢地进行。科拉半岛上的一切岩石都洁净极了！你要是在清冷的早晨拿望远镜往几十公里的野外看去，你所看到的岩石会和你在博物馆里看到的一样。在一个广大的面积上可以看到一层褐色氧化铁的薄膜。只有低洼的地方才有泥炭堆聚，植物的有机物缓慢地氧化，变成褐色的腐殖酸，春天一发水，把腐殖酸和别的能够溶解的盐一齐冲走，结果给湖沼地带凝冻状的泥炭层染上了颜色。


北极地带的冰川

再往南到了莫斯科附近，可以看到另一类化学反应。那里也有有机物在进行缓慢的氧化，也有汹涌的春水把铁和铝溶解在里面，白色和灰色的沙包围着莫斯科的近郊，大片的泥炭田上盖着薄层的蓝色磷酸盐，闪着明亮的斑点。

更往南，景色就逐渐改变了，化学反应的过程变了样，原子进入了新的环境。我们看到伏尔加河中游的黑土带怎样代替了莫斯科周围的灰色的粘土。我们看到强烈的阳光怎样



卡拉-库姆沙漠上的沙丘

逐渐改变地球表面的形状，而使化学反应进行得越来越激烈。

化学反应从伏尔加河左岸起已经有了新的性质：这里开始了广大的含盐地带，从罗马尼亚边境起穿过莫尔达维亚，沿着北高加索山坡，贯穿中亚细亚全部，一直到太平洋岸。这个地带里的盐有氯化物、溴化物和碘化物。这些盐聚集在这个地带里散布着的上万个三角港和死水湖里，这些盐里所含的金属是钙、钠和钾。这里有形成沉积物的复杂过程在进行。

我们再往南就到了沙漠。在沙漠里看到的是另一幅图画：绿色草原植物的斑点之间是大片的盐土，白色的盐在闪闪发亮，巧克力色的阿姆河水穿过这些草原植物。这幅景色表示原子在进行新的化学反应：原子互相变换位置，在沙漠里寻求着新的化学平衡。一部分原子聚集成沙而形成沙漠，一部分原子溶解在水里，被风刮走，被热带的暴雨冲走，又在沙漠当中的盐土和盐沼地里沉积起来。

天山山脚的色彩更加鲜明。这里到处都是激烈的化学反应，原子在这部分地球表面上的旅行路线复杂得很。当我第一次旅行到天山某一个极好的矿区的时候，映入我眼帘的那种五光十色的印象，我是一辈子也忘不了的。我曾经把那幅图画描绘在我讲宝

石的一本书里：



天山的中部地区

"岩石碎屑上盖着一层鲜蓝色和绿色的铜化合物的薄膜，有的地方有颜色深得像橄榄的一层天鹅绒般的包皮，那是含钒的矿物；有的地方又有藏青色和浅蓝色错杂在一起的铜的含水硅酸盐。"

"许多种铁的化合物——氢氧化物——摆在我们的面前，各种色调应有尽有：有的是金黄色的赭石，有的是鲜红色的含水比较少的氢氧化物，有的是黑褐色的铁和锰结合在一起的化合物；连水晶都发出'康坡斯捷尔红宝石'那样的鲜红色，透明的重晶石成了黄色、褐色和红色的'重晶石矿'；洞窟里粉红色的粘土沉积物表面结晶出来红色针状的羟钒矿，那是游离的钒酸，而在死人的白骨上结晶出来黄绿色的片状的重新形成的矿物。"

这幅五花八门、色调鲜艳的图画是忘不了的，地球化学家仔细观察这幅图画，想研究明白它的原因。首先注意到的是，一切化合物已经受到很厉害的氧化作用，这些矿物就是表现锰、铁、钒、铜进行了极高度氧化的结果；他们知道，这是因为有南方太阳的照射，因为含有氧气和臭氧的空气是在电离的状态，因为热带地方雷雨的时候的放电使空气里的氮气变成了硝酸。

箭头把我们带得更远，我们走出了沙的范围。我们走上4000米的高山，就又进到一片荒野，然而这片荒野不是沙而是冰块；这里一点看不见鲜艳的色彩，丝毫没有刚在中亚细亚低地里看到过的那样的原子旅行的踪迹。摆在眼前的景色，正和我



亚热带的景观。高加索沿岸加格拉城的公园里棕榈树林间的小路

们在新地岛或斯匹次卑尔根群岛见过的一样，到处是碎石片机械地堆起来的巨大崖锥，洁净的岩石几乎没有进行过化学反应，在这片冰雪世界里只有少数地方才勉强显出孤零零的一些盐类和硝石。

看了这幅景象，很容易想起北极地带的荒凉情形。所不同的只是这里有的时候也有雷鸣电闪的时候表示这里还有些生气，这里的空气里也会有放电现象，在放电时候产生出硝酸，而在帕米尔高原的荒地里沉积成硝石，这类硝石在智利的亚他喀马沙漠里聚集得尤其多。

可是我们顺着箭头再往前走，穿过喜马拉雅山，就会重新看见南部亚热带的鲜明色彩。阴雨连绵的温暖天气和热带干旱的炎夏交替着，地面上进行着极其复杂的化学反应，能够溶解的盐类都给带走了，铝、锰和铁的矿石聚集成很厚的红色沉积层。

再往前到孟加拉，就看见血红色的红土。有时候红土被狂风卷起，飞扬到高空。

你瞧这热带的印度的巧克力色的土壤；岩石的碎屑被灼热的太阳照射着，发出了闪光，仿佛上面涂着一层半金属的假漆，只有很少地方沉积着白色和粉红色的盐层，穿插在印度亚热带的红色土壤里。

原子旅行的图画到了印度以南就更加生动，更加开阔，碧绿的印度洋冲刷着红色的海岸，火山爆发把玄武岩从地下深处喷了上来。

从浅水的岸边连同那里的贝壳、苔藓虫、珊瑚，到海底深处的珊瑚礁和珊瑚石灰岩，到处看得出来复杂的化学反应使这幅海底的图画显得多么复杂。

死掉的海生动物的骨骼沉在海底的淤泥里，堆成磷酸盐质的纤核磷灰石。

河水把硅石冲来，放射虫就用硅石造成它的网状的细壳，而有孔虫却吸收钡和钙来造它的骨架。原子从北极地带到亚热带便



粘土层的风化作用

改变得这样快，地面上原子旅行的规模便是这样宏大。

北极地带的景观和南部热带的景观怎么会有这样大的差别呢?现在我们明白，这是由于阳光的作用，氧化的作用，湿气的作用和地球高温的作用。这种差别还和有机物的生活作用有关系——有机物在发育过程里需要大量不同的原子。大量聚集的活细胞残骸暴露在南部灼热的太阳下，就分解出二氧化碳，二氧化碳在水里溶解，把水变成酸性的溶液。



火成岩的峭壁雕成的神秘的怪像，在太平洋的北巴斯希岛

化学反应的速度在南方比北方要高许多倍，因为地球化学家很懂得化学上的基本定律之一，在大多数情形，温度每升高10摄氏度，普通化学反应的速度就增加1倍。



用砂岩雕成的佛像，高15米，在阿富汗

原子在北极地带是那样呆板沉静，而在亚热带和南方的荒地里旅行的道路却又是那样复杂，这个道理我们现在已经明白了。不妨把前面讲过的叫做化学地理学，我们已经看到，自然界以及地球上各种各样的大陆和地区，都是和周围进行的化学反应密切地联系着的。

在决定地球化学作用过程的全部因素里面，人的活动所起的作用越来越大了。人的积极活动在近百年来只限制在中纬度地方，后来才逐渐开发北极地带的荒野和控制南方的沙漠。人给自然界带来了新的复杂的化学反应，破坏了一部分天然的作用，使人所需要的原子换一种样子去运动和旅行。这门所谓化学地理学的新科学，其实在确定土壤学的基本原理的时候也早已注意到了，土壤学这门科学诞生在俄国，土壤学的未来是使我们田地里的土壤更肥沃。

我们不由得想起，19 世纪 80 年代，著名的“土壤学之父”道库查耶夫怎样在彼得堡大学的不大的讲堂里讲课，发表了辉煌的议论，给土壤学揭出了引人入胜的远景，从北极苔原起到南方沙漠止，地球上所有的土壤地带他都叙述过。

那时候道库查耶夫卓越的见解还不可能用化学的语言来表达。而现在呢，化学已经深入到了地质学的领域，农业化学家也开始掌握植物的生活和土壤里面进行的化学反应，而地球化学家的研究包括了原子所能旅行到的全部地区，所以我们对于每一种原子在地球上不同纬度的地方经历的复杂道路，也都逐渐明晰起来。

过去的历史告诉我们，地球上各个纬度地方的面貌是起过变化的。地壳在将近 20 亿年的过程里起过好几次变化，两极的位置也改变过，起初山脉只在两极地方有高出雪线的山峰，后来才慢慢向南褶皱，才隆起像阿尔卑斯和喜马拉雅那样的大山脉。包围着地球的大海也从北往南移动过，改变了原来的地带，改变了原来的景观。每个地方都有过不少次海变成山，山变成沙漠，再变成海。

可见在漫长的地质史上，化学反应的过程和各个原子的旅行也有过变化；所以现在地球表面上任何一处的土壤和岩石，都是反映原子在地质史上不同时代里所经历的化学命运。

现在我们知道，一切东西都在生活着，都在变动着，一切东西都在时间和空间里进行变化；自然界里最活动的是原子，它经

常寻求新的道路，它是原始的砖块，世界上最奇妙的结构也是用它造成的，它顺从自然界作用的基本规律，永远在寻找安静和平衡。

找是找，可是现在还没有找到，将来也永远不会找到，因为自然界里根本没有静止，有的只是永恒存在的物质处在永恒运动的状态……

活细胞里的原子

用肉眼就看得出来，煤是植物的残骸变成的。海里软体动物的外壳往往生成石灰岩层。

再用显微镜看看石灰石、白垩、硅藻土和别的好多种所谓沉积岩，那么就会知道，它们都是聚集得很紧密的生物的骨架，这种骨架小得只有用显微镜才看得清楚。

一句话，地质学上早已认识到，地球上的生物在地球表面上进行的一切变化当中起了多么巨大的作用。

活物质或多或少地参加这样的一些地球化学的作用，像岩石的形成，某些化学元素的集中或分散，有些在水里的物质的沉淀，以及从生物的石灰质骨骼生成石灰岩。

可是并不是所有海洋生物的骨架都是石灰质的。有不少生物的骨架是硅石质的，例如海绵便是。

更要紧的是，地球上一切动植物在它们的生活过程里吸收了大量的物质，又把大量的物质排出来，它们仿佛让这些物质通过了各自的身体。

这种通过作用在最小的生物体里进行的速度特别快，像细菌、最简单的水藻和别的低等生物都是这样。那是因为它们繁殖的速度很快很快。它们每 5 分钟到 10 分钟就分裂 1 次，但是

它们的寿命很短。

据计算，物质在这种细胞分裂作用当中被摄取的量比当时地球上一切动植物——也就是一切活物质——身体里所含的量要多出好几千倍。

我们讲过，绿色植物的叶子在太阳光下面会放出氧气，吸收二氧化碳。这样进入空气里的氧气，就去氧化死掉的植物的残骸，去氧化一些岩石，同时供给动物呼吸。

二氧化碳在植物里变成碳水化合物、蛋白质和别的化合物。请想一想，假如地球表面上——海洋里、平原上和山地上，一切生物都死了，那么地球会成什么样子呢?

那样的话，氧就跟生物的残骸结合在一起，空气里就不会再有氧气。空气的成分就要改变。石灰质骨架的极小的海洋生物没有了，因而也不能再生成石灰岩和白垩，地面上也不会隆起白垩岩。地球的面貌当然就要完全改变成另一个样子了。

生物在地球化学上的活动是多种多样的。各种生物可以参加极其复杂的各式各样的作用。

要明白生物在地球化学上起的作用，首先应该知道生物体的化学成分。构成生物体的物质都是生物自己从它们周围的环境里——从水里、土壤里、空气里——用不同的方法取得的。

很早就知道，一切生物体的主要成分是水——H_2O，水在生物体里的平均含量是80%左右，植物里含得稍为多些，动物里含得稍为少些。

可见拿含量来说，氧元素在生物体里占第一位。

碳在生物体的构造上起着特别重要的作用。

碳和氢、氧、氮、硫、磷生成多少万种不同的化合物，生物体里的蛋白质、脂肪和碳水化合物都离不开碳。

活物质里这些碳的化合物的主要来源是二氧化碳。其次生物体里含有大量的氮、磷、硫，都生成复杂的有机化合物。

最后，生物体里还一定含钙——特别是在骨骼里，另外还

含钾、铁和一些别的元素。

起初以为，一般生物体里含量最多的 10 ～ 12 种元素对于生物体的意义特别重大。



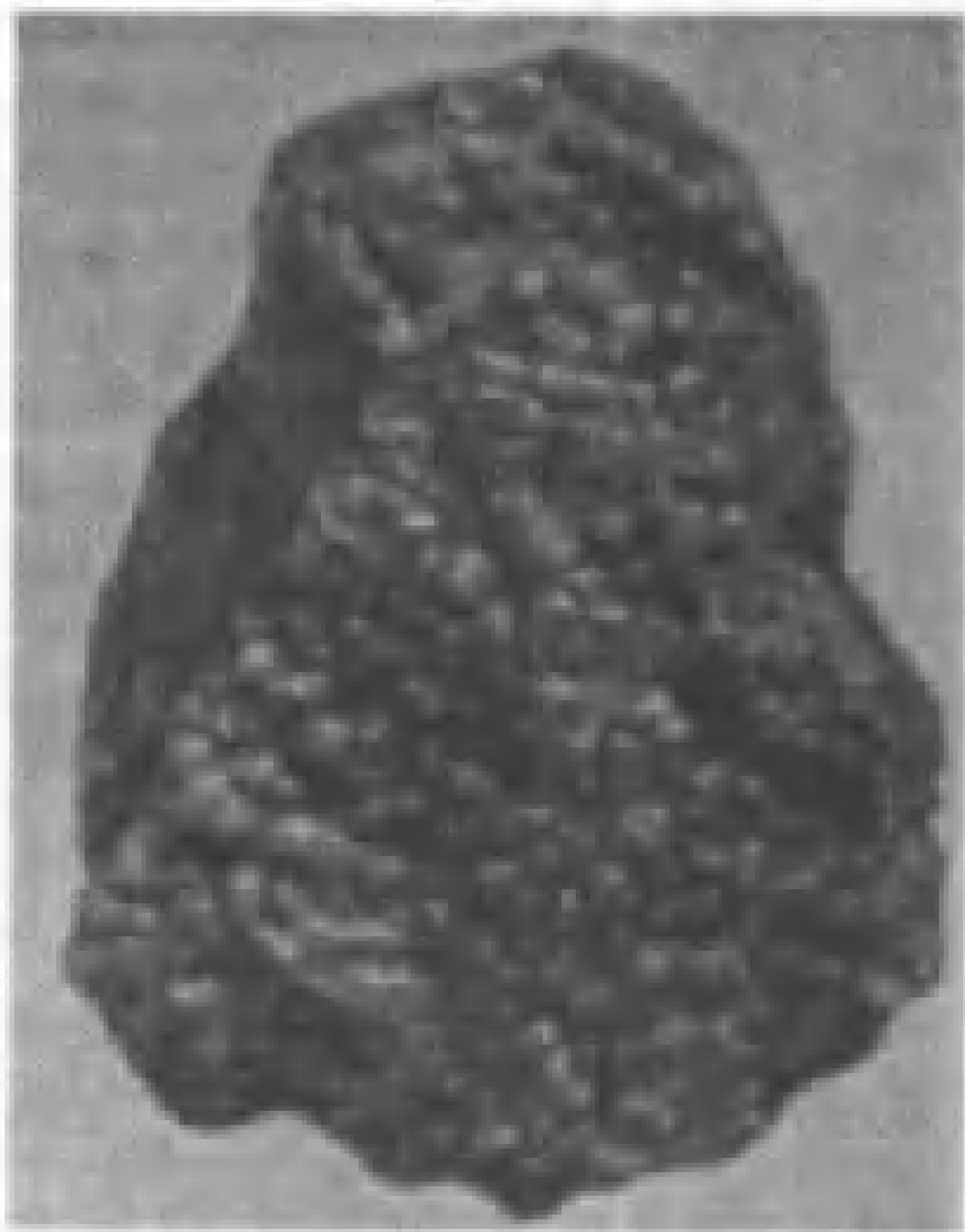
软体动物菊石的外壳变成了白铁矿（FeS_2）。在伏尔加河岸乌里扬诺夫斯克近郊发现

可是后来知道也有这样的一些生物体，除了最常遇到的 10 ～ 12 种元素以外，有的还集中了许多铁，有的集中了许多锰、钡、锶、钒，也有许多别的稀有元素。

譬如说，已经发现在硅质海绵、极小的放射虫、硅藻的生活上，硅起着重要的作用，这些生物的骨架是硅的氧化物。

铁菌的身体里集中了许多铁。又有一些细菌能够集中锰或硫。

有一些海洋生物，它们的骨架里没有钙而有钡和锶。



蛹锰矿的外观

有一些生物，例如海里的一些无脊椎被囊类动物，会从海水和海底淤泥里把钒原子挑选出聚集起来，这种元素在海水和海底淤泥里的含量是极其微小的。

等到这类动物一死，钒就集中聚集在海洋沉积物里。

另外，例如海藻，会从海水里挑选出碘来，海水里含的碘一共只有亿分之几。海藻死掉以后，就带着碘沉到海底泥土里。这种泥土后

来变成了岩石，在这种岩石缝里生成含碘的矿水。我们以后在那原先是海的地方钻下去，钻到很深的岩石里，会遇到这种岩层水，就从岩层水里提出碘来。

像这一类由生物体把元素集中起来的地球化学作用，是很伟大的。

我们研究生物体成分的技术越完备，我们从生物体里发现的元素也就越多，固然每种新发现的元素在生物体里的含量都少得很。

起初只敢假定说，生物体里发现的银、铷、镉和一些别的元素只是偶尔混杂的物质，可是现在已经敢肯定地说，差不多所有化学元素都能从生物体里找出来。问题就是，它们在不同的生物体里的含量有多有少。现代的科学家正在这方面下功夫研究。

我们敢事先断定，生物体的成分决不是它周围的环境——岩石、水、各种气体这些成分加起来的重复。

举例来说，土壤和岩石里含有很多的钛、钍、钡等元素，但是钛在生物体里的含量只有土壤里含量的几万分之一。



在显微镜下看鲕锰矿的结构。用反射光照的像

而另一方面呢，碳、磷、钾和别的几种元素在土壤里和水里都含得很少，然而这些元素在生物体里却含得相当多。

从地球化学的观点来看，现在知道，构成生物体主要成分的那些元素，在地球表面的条件下面，或者说是在生物圈(地球上有生物居住的那个范围)的条件下面，都生成容易流动的化合物或者生成气体。的确是这样，CO_2、N_2、O_2 与 H_2O 或者是气

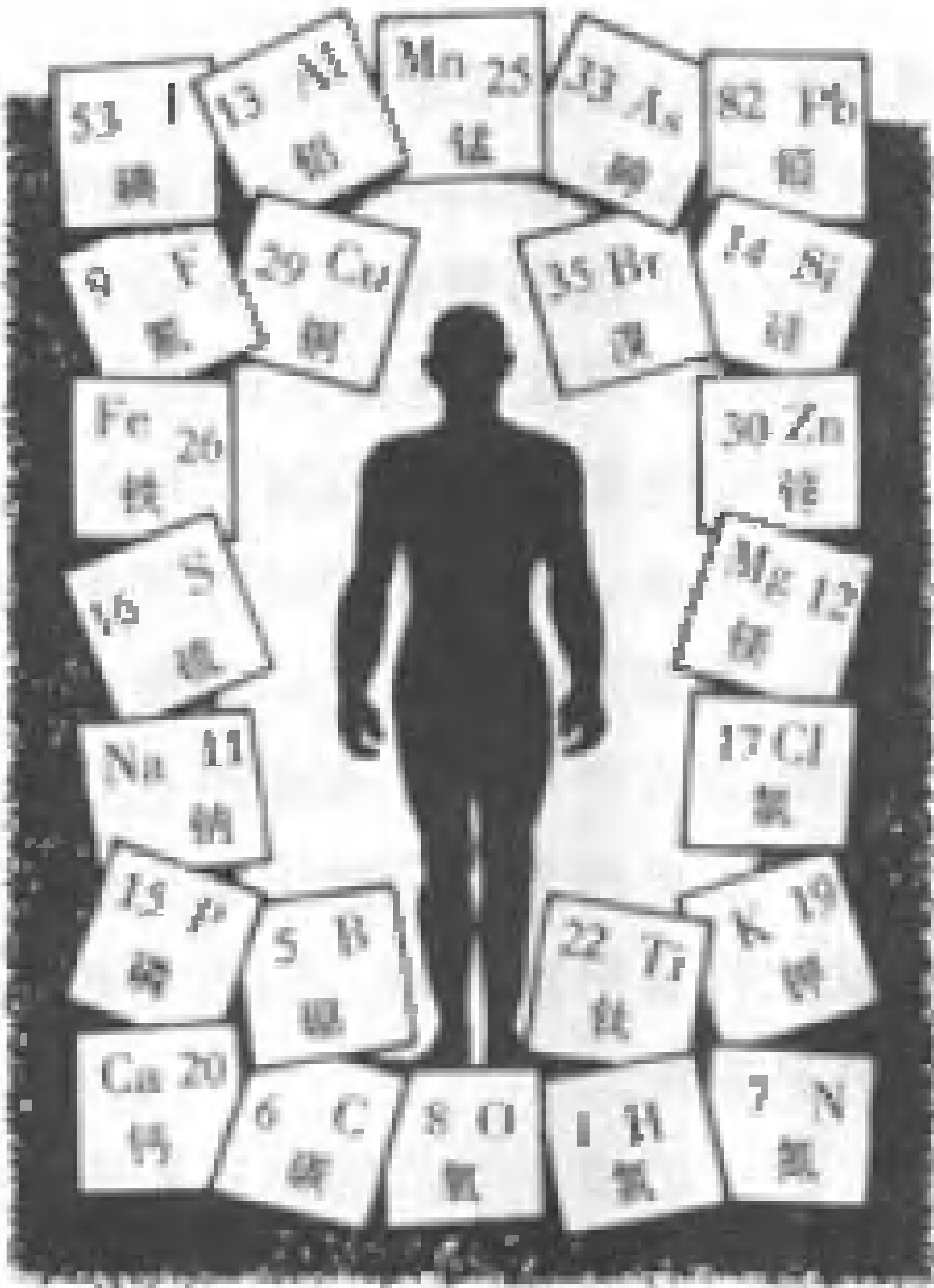
体，或者是容易流动的液体，都容易被生物摄取来进行生化作用。还有碘、钾、钙、磷、硫、硅和另外好多种元素，都很容易生成水里能够溶解的化合物。

至于钛、钡、锆、钍等等，虽然它们含在土壤里和岩石里的不能算少，可是它们的化合物不容易在水里溶解，因而也不容易在生物圈里移动。结果它们很难被生物吸收，甚至完全不被吸收，所以它们在生物体里聚集不起来，它们在生物体里的含量就少得不成比例。

最后，像镭和锂这一类元素，在生物圈里本来就不多，它们在生物体里更是少得不值一提。

有些元素在生物体里的含量太少，少到万分之几或者更少，那就是常说的微量元素。

现在大家承认微量元素的生理作用是非常重要的。生物体里有些物质在生理上起着重要的作用，它们的成分里就含着多种微量元素，像血液的血红素里就含着铁，动物的甲状腺分泌的激素里就含着碘，动植物体里的酵素里含着铜和锌。



人体里所含化学元素的种类，就跟构成无生物的一样

我们可以画一张生物体的解剖构造图，来说明什么元素集中在什么器官和什么组织里。但是我们不谈那个，我们现在是研究生物体在地球化学上的作用。

我们应当承认，各

种生物执行着地球化学上不同的任务，至于什么任务，要看它们体里集中的是哪些元素，换句话说，要看它们各自的化学成分。

“钙质”的生物死了以后，它们的骨架堆成石灰岩，那么钙在生物圈里和在地球化学上的历史就和它们分不开；集中了硅、钒、碘的生物也分别在这3种元素的历史上起着重大的作用。

我们的任务是研究清楚生物对于各种原子在生物圈里的地球化学史发生了什么影响，对这种影响如何评价，以及怎样来利用这种影响。

现在已经可能观察某个地方植物的特性，指出某些植物能够集中哪一些金属，再来寻找这些金属的矿床。埋在土壤底下的矿石，难免使它上面的土壤受到传染。在这种土壤里含的镍、钴、铜、锌的分量会增加，结果在当地的植物体里含的这些元素的分量自然也会增加。

科学家已分析了种种植物的成分。如果发现某种元素的含量很多，就挖探槽或探井来勘探一下。有几处锌矿、镍矿、钼矿和别的矿床就是这样发现的。

植物也罢，动物也罢，任何生物都有一种“习性”，它们从水、土壤、岩石等等的外界里集中起来的某些元素有一定的程度。假如某一地方它们要集中的元素太少，或者太多，那么生物就会改变形态，表现出它们生长得不正常。有些山地的土壤里、水里和天然产物里缺少碘，那些地区的人和别的动物当中就流行着甲状腺肿，如果土壤里的钙不够，那么动物的骨头就容易折断。

这一切都表明：活物质和所谓无生物界之间的联系是多么密切!

活物质和无生物界是整个结合在全部元素的原子的历史过程中的。

所以我们对于地球上各种元素——原子——移动的历史知道得越清楚，越详细，我们对于生物在地球化学上的活动也就了解得越透彻，越真实，而这首先就要明了元素在生物体里的定量的成分。

人类史上的原子

我们翻开化学元素的发现史看看，就会遇到许多新鲜奇怪的事情。最初几种元素是无意中发现的，事先既没有想到它们，甚至没有想到这就是掌握了自然界里很重要的一个秘密。元素是构成一切物质的基础，这种思想不知道经过多少人费了多少心血，才好不容易地从实践渗透到人们的意识。

炼金术士不会区别单质和化合物，可是他们认识几种金属，也知道像砷和锑这一些物质。下面这首诗说明炼金术士的智慧所达到的最高峰：

> "创造世界的七种金属，
> 正合着七个行星的数。
> 感谢宇宙一片好心，
> 送给我们铜、铁、银，
> 还有锡、铅、金……
> 我的儿子！硫是它们的父亲。
> 你，我的儿子，应该快懂：
> 它们生身的母亲是汞！"

——莫洛卓夫(H. Морозов)译诗

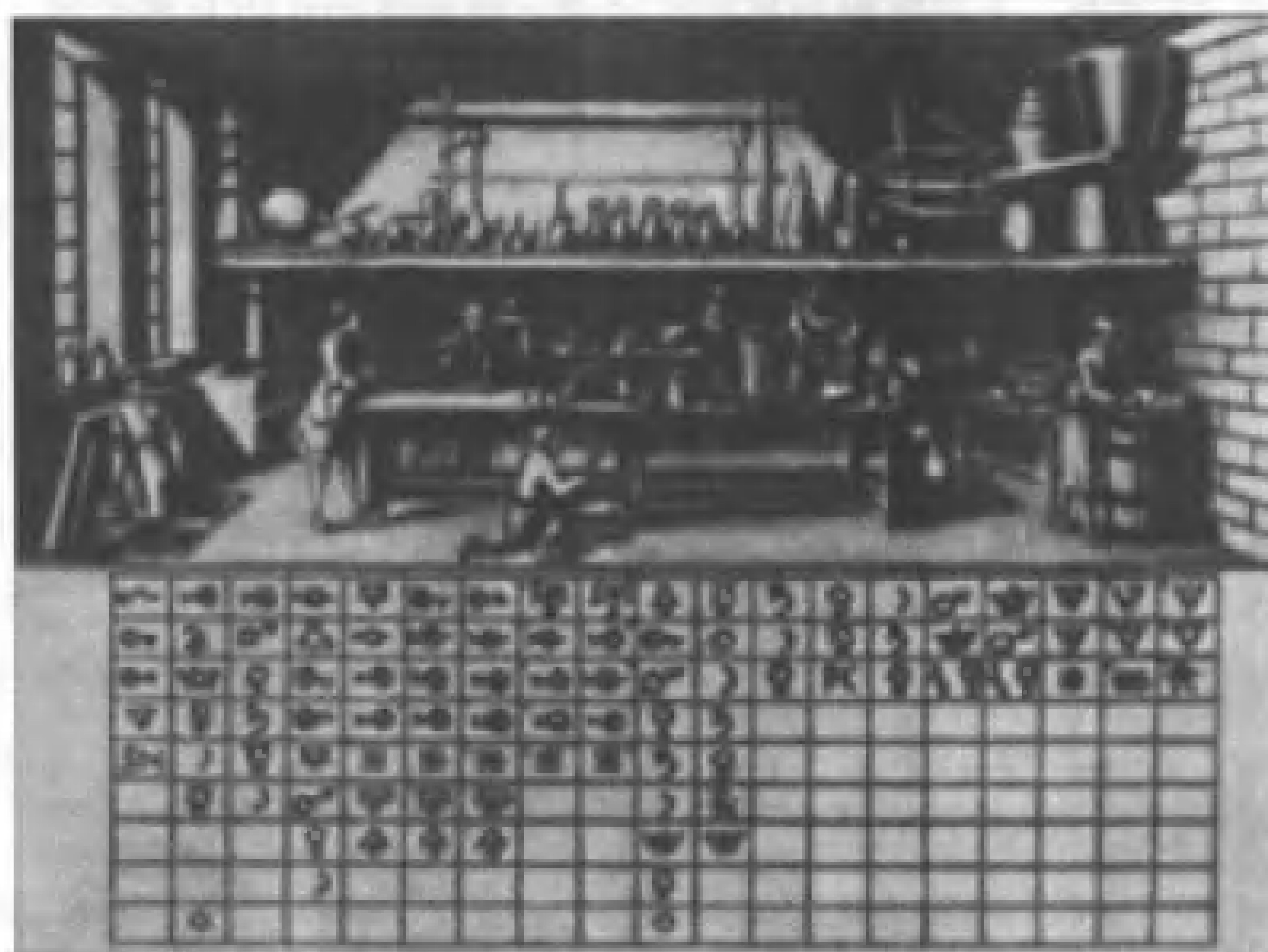
炼金术士，后来有一个时期连化学家在内，都用行星的名字

来称呼这7种金属：把金叫做太阳，把银叫做月亮，把汞叫做水星，把铜叫做金星，把铁叫做火星，把锡叫做木星，把铅叫做土星。炼金术士不把砷和锑当金属看待，虽然他们知道这两种元素在受热的时候容易被氧化和升华。

可惜的是，炼金术士常常把自己的处方用一些奇怪的、有时候简直很难理解的比喻说出来，叫人摸不着头脑。

比方说，有所谓“炼金术士的哲人手”。你在手掌上看到鱼——汞的符号，还看到火——硫的符号。鱼在火里——汞在硫里，照炼金术士的意见，是一切物质的起始。

从这些元素的化合物，产生5种主要的盐，就像一只手掌上生出5个手指，这5种盐的符号就画在手指上面：王冠和月亮——是硝石的符号；六角星——是绿矾的符号；太阳——是硇砂(天然氯化铵)的符号；提灯——是明矾的符号；钥匙——是食盐的符号。



18世纪的化学实验室。下面表上画的是当时学者所用的各种物质的符号。左面第一行第一个符号是酸；第二行末一个符号是金

现在我们明白，如果炼金术士说:“取国王，把他煮沸……”——他指的是硝石；如果他说把“长手指一磅”放进曲颈瓶里去，他指的是硇砂(天然氯化铵)……

炼金术士也知道，每种金属各有一种相当的“灰”，他们会用酸和这些金属作用来制得各种“灰”(照现在的说法就是“氧化物”)。但是他们以为“灰”是比较单纯的物质，而金属倒是“灰”和“燃素”的化合物，所谓“燃素”是一种特别的容易飞散的火质。

只有像罗蒙诺索夫和拉瓦锡那样的天才和爱好劳动，才能证明事实恰好相反：“汞灰”是复杂的物质，是汞和普利斯特利刚刚发现的气体氧的化合物，而且“汞灰”的质量正好是汞和氧的质量的总和。发现氧的那些年(1763 ~ 1775 年)大家公认为是现代化学开端的年代，也是炼金术士的幻想粉碎的年代，那种幻想阻止科学的研究自然已经有不少时候了。

到那时候为止，已知的元素有几十种：早在 1669 年，布兰德发现了磷；18 世纪中叶发现钴和镍，同时会从“锌灰”里提取金属锌。最后，1748 年安多尼奥·乌洛阿在美洲发现一种像银的金属，叫做铂。

但是直到 18 世纪的最后 25 年和 19 世纪的初期才开始真正地审查一切单质。1774 年发现了氧和氯，再过 10 年，卡汾狄士电解水而发现了氢，同时阐明了水的成分。

以后新元素的发现都是有规律地进行的：拿自然界新发现的物体来研究它的成分。有许多次就是这样找到了新元素。像锰、钼、钨、铀、锆等等，就是这样发现的。

1808 年，台维改善了俄罗斯科学家雅可比的电解方法，他增加了电流的强度，又研究出把电解的生成物保存在煤油里和矿物油里，免得被氧化。就是这样制得了纯态的碱金属，发现了钾、钠、钙、镁、钡、锶。

从 1804 年到 1818 年，14 年里发现了 14 种元素(除已经讲

过的外又发现了碘、镉、硒、锂)。后来又发现溴、铝、钍、钒、钌。再往后中断过一段时期：需要有新的研究方法，老办法的全部能力都使尽了。

直到1859年才发明光谱分析的方法，于是新元素又陆续被发现。这样发现的新元素在性质方面和早先发现过的很近似，用老一套科学方法是认不清它们之间有什么区别的。从光谱里发现的有铷、铯、铊、铟、铒、铽和几种别的元素。到1868年门捷列夫发现他的著名的定律，那时候他所知道的元素已经有60种了。

从此科学上有确实的把握相信还有哪些元素存在。

每种元素在门捷列夫的周期表里各占一格，所有元素的总数是有限的，空格表示还没有发现那个元素。

门捷列夫预言了3种待发现的元素，他给它们起的名字是“类铝”(31号空格)，“类硅”(32号空格)和“类硼”(21号空格)，他事先指出了它们主要的物理性质和化学性质。后来果然发现了这3种元素，确凿地证实了门捷列夫的预言。“类硼”定名做钪，“类铝”定名做镓，“类硅”定名做锗。

千万别以为地壳上常见的元素是最先发现的，而稀有的元素是后来发现的。全部元素的发现经过决不是这种情形。举例来说，金、铜、锡3种元素在地壳里的含量很少，然而它们是人类最先认识的金属，它们老早就在人类的技术文化史上出现。可是它们在地壳里的平均含量，锡是百万分之几，铜是万分之几，而金还只有亿分之几。

可是地壳上分布最广的几种元素呢，譬如铝吧，地壳平均有7.5%是铝组成的，而铝却发现得很晚；人们在20世纪初期还把铝当做稀有的金属。

金属的发现有早有晚，关键在于它是不是容易生成单质，是不是容易大量聚集而形成所谓“矿床”。

如果它能够聚集在一处，那么它也容易被人发现，容易被人

拿到技术上来使用。

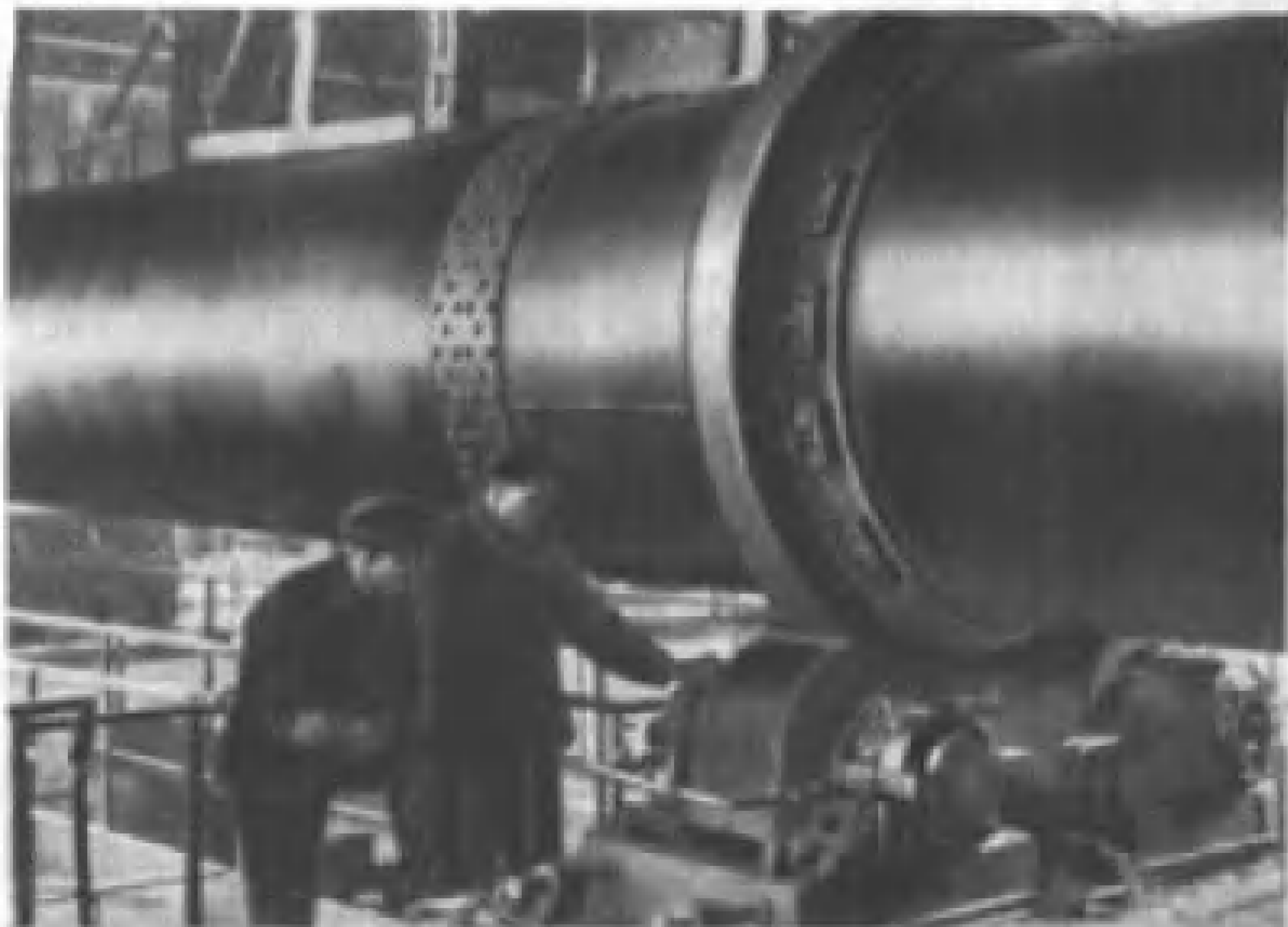
每发现一种新元素，化学家首先要在实验室里研究它的性质。这可以说是对它初步的认识。然后看看它有什么特性，寻找它特有的、与众不同的特征。

例如，锂的密度只有 0.53 克/厘米^3，所以它竟能漂浮在汽油上，难道这还不算稀奇吗？而锇呢，正好相反，密度是 22.5 克/厘米^3，有锂的 40 倍那么重。镓刚热到 30 摄氏度就熔化，可是它很不容易沸腾，因为它的沸点(2300 摄氏度)比工业上常用的高温要高得多，难道这还不算稀奇吗？你们要问：“稀奇是稀奇，可是有什么用呢？”请听我说。

先说一说镓。工程师和化学家在实验室里和工厂里使用高温的时候，总想知道要试验的那种物质或者制品能经得住多高的温度。那么当然先得测量温度。可是问题就来了：测量 360 摄氏度以下的温度很简单，而温度再高就发生困难，因为汞在 360 摄氏度沸腾，所以汞温度计超过这个限度就不中用了。这里便需要用镓。假如用难熔的石英玻璃做细管，装进去熔化的镓，这样的温度计差不多能测量到 1700 摄氏度，这时候镓还不想沸腾。如果玻璃管的熔点还要高，那还能够测量到 2000 摄氏度。

再谈质量，质量就是重力，是一种压迫地球的力量。重力反对运动，反对速度，反对物体向高空升起。可是人想在地面上走得快些，想学鸟似的能在空中飞翔，那么就得克服重力，于是人就来设法制造又轻又结实的机器，寻找又轻又结实的材料。后来找到两种特别合适的金属：铝，密度是 2.7 克/厘米^3；镁，密度是 1.74 克/厘米^3。

在现代的飞机上，大部分零件都是铝制的，说得更正确些，是铝和铜、锌、镁等金属的合金制的。可是铝的这种在飞机制造业上的统治地位不是一下子就得到的，它为了改良性质——强度、硬度、弹性和耐火、耐氧化的性质，是经过了艰苦的斗争的。当制取金属铝的困难一克服，它第一件事情就是先侵占厨



炼铝工厂电极车间里的旋转炉，用来煅烧含碳物质

房。用铝制造锅子、匙、杯子，又轻巧，又干净，还不被氧化，最初提炼出来的铝就是这样用掉的。当时工业上还没有用它，因为这种柔软的金属并不特别坚硬，并不容易熔化，又不能焊接。把它用到什么地方才合适呢?铝引起全世界的注意，是在制成了硬铝以后，硬铝是一种很坚硬的合金，是用厨师“做菜”的方法试制出来的：坩埚里盛着铝，依次放进各种不同的金属，把每次生成的合金取出来，试验它的强度以及一些别的性质。

当时谁也不明白，为什么4%的铜和0.5%的镁，再加上极少量某些别的金属，就会把柔软的铝变成奇异的硬铝，不但坚硬，而且可以像钢铁似的煅炼。硬铝的惊人的性质不是一下子表现出来的，所以它的加工过程非常方便，非常简单。把硬铝煅炼以后，它还要连续柔软几天。它仿佛需要这几天功夫来“积蓄力量”，好让它内部铜的小颗粒移动位置来形成硬铝的骨架。除了硬铝以外，现在已经有比它更好的合金。譬如，苏联造的环铝就比硬铝更坚硬。



莫斯科的克里木桥，是用硬铝建造的

工业上使用了硬铝和别的轻合金，对于一切交通运输工具的意义非常巨大。地下火车或电车的车身用铝来造，在质量方面比用钢造减轻1/3。用钢造的电车，每个客座占的死重是400千克左右。如果改用铝来造，每个客座占的死重就减少到280千克。

镁的历史很有趣：它可以说是发现过两次。第一次是台维发现的，从那时候起100多年当中，人们始终认为它是最没有用处的金属之一，只把它做成镁带或镁粉，在放烟火的时候用到。可是到了20世纪，发现这种当做“玩意儿”的金属竟有很奇妙的性质，如果好好利用它，真能在许多工业部门里引起革命。

铝固然已经给人添了翅膀。可是人不但要飞，还要飞得越远越好。如果造飞机的金属再轻一些，假定再轻20%，那么飞机就可以多装些汽油，岂不又可以多飞几千公里?但是上哪儿去找比铝更轻的金属呢?

这就不能不想到镁了。镁的密度是1.74克/厘米^3，就是说，它比铝轻35%。但是制造机件所用的金属一定要是坚硬

的，特别是不受氧化作用，而镁却没有这些性质；连开水都能和镁起作用，水里的氧和镁化合，使镁变成白色的粉末——氧化镁。镁在空气里比木头燃烧得更好。但是工程师和化学家并不表示悲观失望：他们知道，合金会帮助他们得到他们所需要的性质。果然，在镁里面添上极少量的铜、铝、锌、镁就不再被氧化，而且变得和硬铝一样坚硬。含镁量在40%以上的一切合金，都叫做“琥珀金”。琥珀金里除掉镁以外，还含铝、锌、锰和铜。

这就是现在20世纪镁被第二次发现的经过，镁从此成了飞机制造业上应用的金属，它在这方面的地位很快就巩固起来。特别是在制造飞机发动机的时候要用到它。用镁的合金制造的飞机发动机零件非常坚固经久，不会疲倦。

难道金属也会“疲倦”吗？遗憾得很，是会疲倦的。用钢造的弹簧不断地来回伸缩，逐渐失去弹性，变脆而且会折断，——这就是疲倦了。发动机的轴“老”了也会折断。但是技术家发现有些合金很能“经久”；它们内部不同金属的原子彼此联系得非常紧密，所以尽管敲打这种合金，那种联系还是不会削弱的。镁的合金便是这样。当然，镁的用途不只是飞机制造业一种，镁在汽车制造业上也用得很普遍。用镁的合金制造的工具和机器零件相当坚固，而且轻巧，质量只有钢造的1/5～1/6，可是强度有时候比钢造的还大。

镁是地壳上分布很广的金属：地球上到处有它。它和铁一样，也是成堆地聚集在一起，所以开采它并不费事。海水和盐湖里都含镁不少，例如克里木海岸的锡瓦什湖水里镁的含量就很多。

镁的主要矿石是光卤石（氯化钾和氯化镁的复盐），这种矿在苏联特别多。光卤石在苏联索里卡姆斯克的储藏量最丰富，从地面往下深到100～200米都是这种矿层。用炸药把矿炸开，用风镐在矿坑里把矿石凿碎，然后运到地面上来。

运出来以后还要费不少手续才能让镁和氯分开，因为它们结

合得很紧密。要把镁和氯分开，先要让光卤石熔化，再把直流电通进去。电流破坏了镁和氯的联系，于是洁白的金属镁像水流似的流进铸锭模里去。

现代还能从海水里提出镁来，海水里含盐 3.5%，这里面镁占 1/10。可见 1 立方米的海水里有 3.5 千克的镁。

从海水提取镁的办法很简单：先把海水过滤，把滤过的海水倒进桶里，撒入消石灰，这时候氢氧化镁就沉淀出来，使海水变成混浊。把混浊的海水溶液静置澄清，把透明的水倒走。把沉淀物放在过滤器里压干，再用盐酸中和，让它溶解，最后把水分去掉。把制得的固体氯化镁熔成液体，温度保持在 700 摄氏度，像电解光卤石似的把它电解。这就是从海水制镁的全部过程。

镁不但是制造机器的金属。它还能燃烧，产生很高的温度，可以高到 3500 摄氏度，这点也是工业上忘不了的。镁是特种青铜的重要成分；镁和铝的混合粉末可以制造非常猛烈的燃烧弹。工业上很需要镁，它的前途是很光明的。

再回过来讲飞机。另外有一种“飞行”的金属，飞机制造业现在刚开始用它。这就是铍，它的密度是 1.84 克/厘米^3，可是它比镁更坚硬耐久。

铍的合金的性质比到现在为止飞机制造业上所用的任何合金都强。用铍的合金制造的工具，用的时候不出响声，不冒火花。

镁的合金里添进铍去，就特别坚固经用，而且不受氧化。提炼镁的时候加进微量的铍，就不必再采取必要的措置来防镁氧化。

于是又引起一个问题：是不是还有更轻的合金呢？

这就要想起锂了。要知道，锂的密度只有 0.53 克/厘米^3，和软木一样轻。铝的合金和镁的合金里只要有一点锂，这些合金的硬度就大大增加。

可惜，含锂很多的坚硬的合金到现在还没有制造出来。这样的合金是值得设法制造的，因为锂在自然界里不算少，它在地壳上的含量和锌一般多，有些锂矿里富集着大量的锂，生成锂辉石

和锂云母。

这样看来，假如锂和铍制成的合金很合用，那么锂还可以多多开采。但是关于锂的合金研究还没什么成果，而这正是当前的任务。

矿水里也有锂，医生说含锂很多的水(譬如法国维希有这种水)特别有治病的功效。但是最引诱人的远景还是用锂造成轻巧坚固而又不受氧化的合金，用来制造飞机。

然而轻的金属和轻的合金在运输部门和许多别的工业部门里现在还不能完全代替黑色金属——铁、钢和它们的合金。现在谈一谈这些“老前辈”，它们虽说老，可是还朝气勃勃，还很健壮，还在不断造成品质优良的合金。

如果想一想所有这些复杂的合金(所谓合金钢)的成分，就知道它们含的是一群性质彼此接近的金属——铁、钛、镍、钴、铬、钒、锰、钼和钨。这一切合金基本上都是“钢”，也就是含碳的铁，把它们“合金化”，就是在它们里面羼进不同的稀有金属，它们的性质就根本改善了。

如果把合金钢里的铁去掉，完全改用稀有金属代替，那么它就不再是铁的合金。譬如有一种合金叫做斯大林合金，只含钨、铬、钴3种金属。这种合金是现在大家很熟悉的高度硬质合金的老祖宗，工业上用这类合金来切削金属，结果切削的速度空前提高——起初每分钟切削70～80米，现在已经到几百米了。

从钨产生了各种高度硬质合金，大大改进了金属切削的技术。用钨和钼制成了好几百种空前坚硬的钢，有耐热钢、装甲钢、弹簧钢、炮弹钢、穿甲钢，等等。

由于发现了钨和钼等等稀有金属的性质，恐怕没有一种工业部门不起根本变化的。



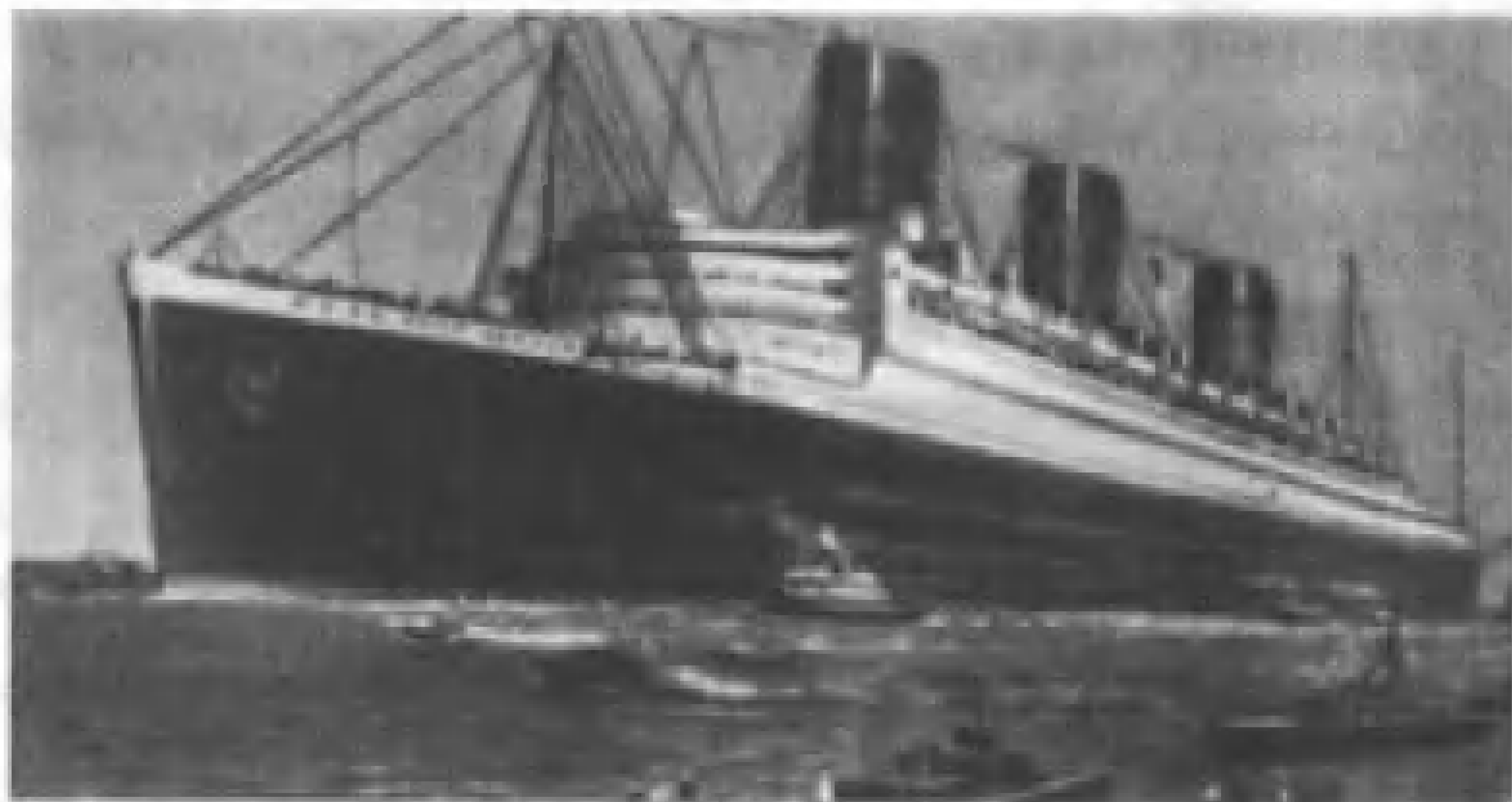
熔炼钨矿石的炉子



克雷麦克斯——科罗拉多山里的钼矿。这里钼生在花岗岩夹层里。
图上右方是选矿工厂

可是“稀有”这个名词对于这些金属来说已经过时了。假如算一算它们在地壳里的含量，那么钼相当于铅的2倍，钨甚至于相当于铅的7倍。它们又何尝稀少呢！而且现在它们在工业上也用得很普遍，它们的开采量正在飞快增加，就要赶上别种普通的“非稀少”金属的开采量了。

钼钢的用途是制造炮筒和炮架。锰钼钢是造装甲的材料，



远洋航轮，船体用钼钢制造



检验电灯泡里的钨丝。上面的影子是60瓦灯泡里的卷丝，放大80倍；中间的是第二根卷丝。下面是用来比较的人发

也用它造穿甲炮弹。

制造汽车和飞机的设计师对于金属有3点基本的要求：最大限度的弹性，极强的韧性，不怕长时间的振动而又经得住频繁的撞击。近年来对于钼的需要所以增加，正是因为制造轴、连杆、轴承、飞机发动机、管子等等都很用得着钼，特别是和铬、镍合用。

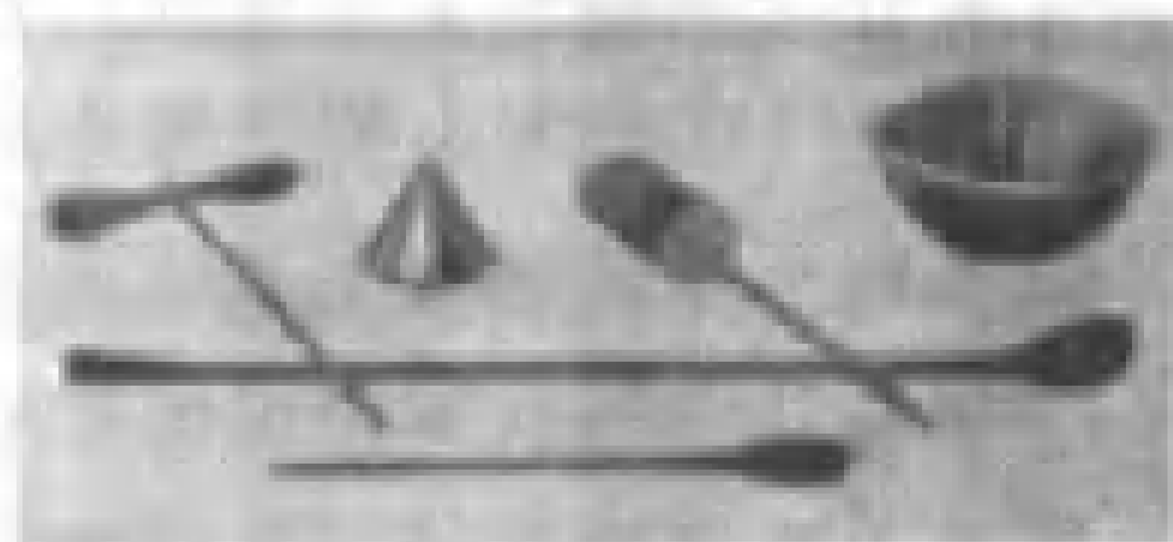
钼的另一个用途是铸造品质优良的灰铁。这种铁里加很少一点钼(0.25%)，它的物理性质就能提高，特别是增加了弯曲强度、抗张强度和硬度。

把钨和钼抽成细丝，在电工业上用在真空管里的量很大。白炽电灯的灯丝也是用钨做的。钨的熔点是3350摄氏度，比一切别种金属的熔点都高。在熔点方面比钨更高的只有碳，是3500摄氏度。和钨的熔点相接近的还有两种元素：钽(3030摄氏度)和



在特别的实验室里检验钨接触子

铼(3160 摄氏度)。钼的熔点是2600 摄氏度，可以用它制造小细钩子来钩住电灯泡里的白炽灯丝。



钽制的化学器皿，和铂制的一样坚固，可是比铂制的便宜

可见单单发现元素是不够的，——发现了以后，还得研究和寻找它在制品上特别宝贵的性质，那样的话，这个元素就仿佛被第二次发现，它才对人有用处，才变成人缺少不了的。譬如汽车发动机里的接触子就是用钨制造的，薄到 1/10 毫米的小钨片可以保证汽车上分电盘的接触子用上几百小时也不会烧坏。

铌不也是很恰当的一个例子吗?它常常和钽在一起，但是起初认为它是没有用处的元素，反倒把钽“弄脏”了。可是后来发现，只要钢里面添上铌，钢就变成电焊钢制品的极好的焊接材料，焊接过的地方非常牢固。从此铌就和钽一样需要了。

用在工业上的元素越来越多，当然还并不是所有元素都已经用到工业上，而且将来无论什么时候也不会有一天说是工业上不再需用别种元素的，因为技术在不断进步，这种进步是没有止境的。在这方面起光荣作用的是化学家和地球化学家。

工业上需要的一切物质都可以在地球上找，那么工业上的进步对于地球有什么影响呢?按照人的意志，总想把地壳都挖开，把需要的一切物质都取出来，而从来不想，取走的东西再也回不来了。人是不是会把地球里的物质消耗完呢?



表壳里含有铌

我们研究一下人类在地球上发展的全部过程，脑子里难免产生这个问题。促使我们提出这个问题的还有一种情况：我们从地下开出的矿产一年比一年多。

我不由想起一个工程师的故事，他本来在矿山上工作。他住在一座菱镁矿的大山附近的小房子里，可是过了二三个星期，山已经不见了：搬到水泥工厂里去了。

只要看看钢铁厂扔出的矿渣堆积如山，就明白人的活动也是地质学上改造地壳的一个因素。

全世界化学工业上最重要的问题之一是碳的命运，在这方面人起的作用特别大。碳在自然界里分布成3种形状：活物质；地壳上层聚集的煤和石油；大气、河水、海水里的二氧化碳，但是含二氧化碳最多的还是它和钙化合成的石灰石。

空气里的二氧化碳在2万亿吨以上，因而里面含的碳有6000亿吨。每年开采10亿多吨煤和2亿多吨石油。烧煤烧石油，把碳变成二氧化碳。这样说来，空气里每年要增加30亿多吨的二氧化碳；假如二氧化碳不在海水里溶解，又不被植物吸收，那么二三百年以后，空气里二氧化碳的含量就会增加1倍。

人们利用煤里的碳，结果促使碳分散消失在自然界里，而且利用煤的规模是那样庞大，所以人的活动确实是与真正的地质变革的规模相似的。


用挖掘机开采矿石

人们对于金属的命运也干涉得很厉害：掌握在人手里的铁差不多有10亿吨，包括铁的制品在内，但是铁的性质不稳定，在不断地被氧化。

在同一时期里受氧化的铁差不多和炼出的铁一般多，结果积聚的铁几乎抵不过散失的数量。

金的情况稍为好些，拿它当做试剂或者用来镀别种金

属，连损耗在内，每年在一吨左右，那就是说比它每年的开采量(大约600吨)少多了。

至于铅、锡、锌那类金属，它们聚集在地壳里形成矿床的本来不多，而人去开采它们的结果，又只是在使用它们的过程当中把它们一去不返地分散开来。

人在农业上和工业上活动的规模，真可以跟自然界的作用相比拟。

耕耘地球的最上层，也就是耕耘土壤来满足农业上的需要，这在地球化学上的意义非常重大，因为这样一来，使得每年有3000公里以上的土壤会受到大气里的水和空气的激烈作用。

农作物从土壤里带走大量的矿物质：磷酐1000万吨，氮和钾3000万吨。这些数字比对土壤施用这3种肥料的数字不知道要大多少倍。被植物摄取的各种元素落到动物的循环圈里，而归根结底还是散失掉了。

总之，人在农业上和技术上的活动促使物质分散开。每年开采出矿石的总数有1立方公里多。假如再把建造堤坝和灌溉渠等等的数算进去，那么就有2～3立方公里。

全世界冶金炉里流出的矿渣恐怕也有1立方公里。请看人把化学工业上的废物扔在地球上的有多少!

如果把这些数字和世界上所有河流每年从地面冲走的沉积物15立方公里比较一下，那么不能不承认，人的活动和河流的作用是同等重要的因素。

再看建筑业，每年要用多少石头和水泥!苏联建设城市的规模非常巨大，每年要用去10亿吨以上的各种建筑材料。

人改造自然的速度一天比一天快。从各种金属在地球上的总储藏量来看，它们还多得很，一时还谈不到枯竭。可是这些储藏量并不是都能用的，因为实际上只有某种金属聚集得比较多才能供工业上开采。而金属大量聚集的情形却不算很多。

好几种金属按它们已经知道的储藏量来说，只能勉强满足工

业上的需要。所以地质勘探人员和地球化学家的大军一定要加紧寻找金属，以便充分供应工业上越来越增加的需要量。

苏联科学家越是多注意这些问题，苏联也就能够更快地得到充足的稀有金属和有价值的金属，这些金属对于增强苏联的威力都是必不可少的。

战争中的原子

交战的国家把各自的全部经济实力投人战争，这是现代战争的特点。这个特点最初在第一次世界大战里表现得特别明显。炸药、钢铁、铜、硝石、甲苯、石油、黑色金属都开始对军事行动发生影响。军队的战斗力在很大的程度上要由原料供应的情形来决定。

1916 年凡尔登战役持续了好几个月，那次战役消耗的原料达到了空前的规模。德国军队进攻凡尔登要塞没有到手，他们对这个要塞的守备部队投人了将近 100 万吨的钢铁，把战场连同地下的防御工事整个变成钢铁“矿”。

参加战争的原料用量的比例急剧增加。

1917 年，德国军队挖战壕，转人了阵地战，他们对于水泥的需要量差不多等于德国水泥全年度的产量。

在第一次世界大战期间，交战国在制造炸药所需的氮的化合物和硫酸以及碘的需要量，都超过了当时全欧洲工厂生产能力好几倍。战争的前途忽而对交战国的这方面有利，忽而又对那方面有利。

到 1917 年年底为止，法国国内所存的钢铁只够一星期用，炸药几乎都用完了。英国也发生了煤和粮食的恐慌：德国的潜水艇击沉了英国的商船队，饥饿威胁着千百万人的生命，粮食和原

料的储存量算来只够几星期用的了。

但是德国消耗的原料比协约国消耗得更快。有色金属已经没有来源。在战场上搜集的金属碎片也不够用。

德国缺乏原料，有使它崩溃的危险，失败的命运正在加紧迫近德国。1918 年 3 月，德军突然发起攻击，突破了协约国的西部防线，占领了亚眠，打通了向巴黎前进的大路，那时候他们离开巴黎一共只有 120 公里。可是实际上德国军队已经瘫痪了：既没有橡皮，又没有汽油；“奄奄一息”的破胶皮轮子没有办法在暴风雪里进行机械化的运输；粮食和弹药已经接济不上。军队再也不能前进。德国的命运已经决定了。德国的资源，它的物质力量和精神力量比协约国先枯竭。所以德国终于打了败仗。这就是第一次世界大战的教训。

可见，尽量大规模地和多方面地储备战略上的原料，是一切国家的重要问题，特别是在第二次世界大战开始以前早就成了侵略国的重要问题！有大量的文献都在这方面下功夫研究，我们翻开看看，就知道内容很新很复杂，牵涉到的范围有经济、地质、技术和冶金。

算一算战略上的原料，一共有 25 种以上：铁、铝、镁、锌、铜、铅、锰、铬、镍、砷、锑、汞、硼、钼、钨、石油、煤、橡胶、氮、硫、黄铁矿、石墨、钾、碘、磷酸盐、石棉和云母，此外还得添上铀。

所以在第二次世界大战开始以前，许多国家早就动手争夺原料。美国开始发展它所需要的金属生产。而德国相反，把许多自己的矿藏都留着不动，把它们看成地下的资本。譬如，德国停止开采本国的黄铁矿，留着战争时候用来制硫酸，而先用从西班牙运来的大量的黄铁矿。

德国定了不少办法来准备开采它国内含铁比较少的铁矿（然而含锰很多），但是并不动手去开采。德国在战前 5 年里动用了全部货币基金，拚命从国外输进原料；输入的锰矿是前 10 年的5

倍，买进了大量的钨和钼，还运来好多石油产品。德国在石油上用的钱非常可观。第一次世界大战以后的德国军事工业，由于英美资本的扶植，很快就恢复了。

最后，德国实行了一系列的措施来抢夺其盟国和邻国的原料市场，要尽可能地多控制原料的来源，免得在战争中发生恐慌。它怎样来做呢，看下面的例子就可以知道。德国在第一次世界大战以后马上就得到南斯拉夫博尔地方的铜矿，把这矿控制在德国资本之下，又把德国的工程师派到矿上去。德国把这个著名的矿山拿到手以后，本来以为它在战时铜的供应量可以增加 1 倍，1 年差不多可以增加 5 万吨。但是战争期间工人破坏了这个矿，工人不让法西斯德国能够利用那里的铜。

军队对于原料的需要量多到什么样的程度呢?我们可以粗略计算一下。比方说有现代化的军队 300 个机械化和摩托化的师，一共 600 万～ 700 万人，那么战争一年，要钢铁大约 3000 万吨，煤 25 000 万吨，石油和汽油 2500 万吨，水泥 1000 万吨，锰 200 万吨，镍 2 万吨，钨 1 万吨，还要许许多多别的物质。[1]

请仔细想想，这些庞大的数字表示什么呢?3000 万吨钢铁是什么意思?那就是说，要炼出那样多的钢铁，至少要 6000 万～ 7000 万吨矿石，等于挖尽好几个大铁矿。

石油的数字更是庞大——2500 万吨，这个数字还是往少里说，因为前方和后方，还有空军和海军，都要燃烧大量的各式各样的石油化工产品。罗马尼亚最高的石油年产量到过 700 万～ 800 万吨，伊朗每年可以出产石油 1000 ～ 1100 万吨。

除掉上面说的原料以外，战争中还需要大量的橡胶、有色金属、建筑用木材、石棉、云母、硫、硫酸和别的物质。

可是不断地大规模使用原料变成了地球化学上改变金属分布状态的因素。现代的军事技术还有新的特点。它还大大地扩大了

---

[1] 这段是著者根据 1940 年的资料写的。——编者注

物质的种类，让它们直接或间接参加战斗；它对那些战略上主要的和起决定性作用的原料作了重新估价；它采用了千百种新的产品、化合物和合金。

中世纪的骑士穿铁的锁子甲和各种甲胄，直到不久以前钢铁还是制造武器的唯一金属，但是现在出现在战场上的是地球上新的力量，是新的化学元素和它们的化合物，是好多种稀有金属，特别是“黑色的金子”——石油。

有许多次正是因为有了它们才能取得战役的胜利。

现在我们试从化学上来说说现代的战役。坦克部队在进行战斗了。这时候装甲钢的品质对于战斗的胜利起了不小的作用。铬、镍、锰、钼是促使装甲坚硬的金属；轴、齿轮、履带是坦克最重要的部分，它们的成分里有钒、钨、钼、铌；坦克的保护色用的是铬的颜料，里面还有铅；坦克上又用特制的硼玻璃和用碘的化合物造的起偏振玻璃，使坦克手可以看见敌人而不怕敌方强烈的探照灯和别种灯光的照射。坦克上比较次要的部件是用硬铝和硅铝敏——一种铝和硅的合金制造的。

质地优良的汽油、煤油、轻石油和从石油里炼出来的最好的润滑油对于坦克的活动力和速度起着极大的作用，而溴的化合物更能促进燃料的燃烧，部分地减少发动机的噪声。

差不多有 30 种化学元素参加装甲车的制造。而它的武器里含的化学元素更多：榴霰弹和榴弹要用锑和硫化锑；炮弹、炸弹、枪弹和机枪子弹带要用铅、锡、铜、铝和镍；爆炸用的钢要特别脆；炸药的配合也是复杂的，这类炸药是用石油和煤提炼出来的产物制成的，它们都有极大的爆炸力。

装甲车部队和坦克部队发生冲突的时候，就有上万吨的金属和各种不同的物质参加，所有指挥员、坦克手、装甲车手都在操纵着大规模的化学反应，这些反应发出的破坏力达到可怕的程度，压在单位面积上的力量有好几百吨。

有时候毁灭整个村镇的巨大浪涛的最大压力也有 9.85 ×



军事技术上的化学元素

$10^4 \sim 1.471 \times 10^5$ 帕。可是和炸弹爆炸时候发生的空气波相比，还是很小很小！哪一方面的装甲越结实，汽油的辛烷值越高，炸药的破坏力越强，那么这方面就越占优势。

我们现在再把现代化的大都市遭受夜间空袭的情况做一个化学分析。

轰炸机和驱逐机的联合编队在秋天的黑夜里飞行着——一些铝飞机的总质量只有不多几吨，是用硬铝和硅铝敏这两种铝的合金造的。后面跟着几架重型飞机，机身是用含铬和镍的特种钢制造的，焊接的地方很坚固，是用最好的铌钢焊接的；发动机上重要的部件是铍青铜制造的，别的部件是用琥珀金(镁和铜、锌、铝的合金)制造的。油箱里装的或者是特别好的轻石油，或者是最好最纯的汽油——辛烷值最高的汽油，因为那样才能保证飞机飞得快。

驾驶盘前面坐着飞行员，带着一张地图，图上蒙着一片云母或特制的硼玻璃。许多仪表的指针上含钍和镭的荧光物质发出浅绿色的光，机身下吊着炸弹和成串的燃烧弹，用特别的杠杆操纵，很容易把炸弹和燃烧弹扔下，炸弹是用容易爆炸的金属制的，里面的雷管里装着雷汞，燃烧弹里装的是铝、镁和氧化铁的粉末。

有的时候让发动机转得慢一些，有的时候又让发动机开足马力前进，螺旋桨和发动机轰轰的响声震动了房屋和玻璃，敌机用降落伞投下了照明弹。

我们看见挂灯似的火光慢慢降落，先是红黄色的火焰，这是碳、氯酸钾和钙盐的混合物在燃烧。

后来火光逐渐变得更稳定，更亮，而且变成了白色，这是镁粉在燃烧，那种镁粉和照相时常用的一样，但是这里是在镁粉里羼一点钡盐来压成的，所以燃烧起来带一点浅绿的颜色。

城市的防御工作也不松懈。许多防空气球装满了氢气，飘在不粗的钢索上，来预防敌机俯冲轰炸。要紧的地方气球不装氢气

而装氮气。听音哨的士兵用声波测远器来探敌机发动机的声音，即使隔着云雾也能够判明在飞行的敌机的位置，接着就用自动化的装置迎着它发出红黄色的星状的闪光，这些闪光一下子闪亮，一下子又熄灭，是由许多种发强光的物质制造的，这里面钙盐起的作用特别重要。

几十条探照灯的白光把漆黑的天空射透好几公里。金、钯、银、铟这4种金属反射出来的耀眼的光线照着敌机硬铝的机身，罩住了敌机。探照灯灯泡的炭里加有几种稀有金属的盐，就是所谓稀土金属的盐。英国科学家把钍、锆和别的几种特别金属的盐放在灯泡里，这样特别能够增加探照灯光线的强度，可以射透伦敦的雾。

现在吊在敌机降落伞底下的照明弹的火花一过，就是一阵烟幕。敌机在照明的天空盘旋一个“8”字形，选择好轰炸的目标，然后从特制的炮弹里放出一道钛盐或锡盐制的烟幕，给轰炸机指出俯冲的区域。

但是这时候城市的守军已经对着敌机放的照明的镁光发射出上千颗红色的和红黄色的曳光弹。曳光弹爆发闪出鲜艳的颜色，妨碍着敌机判明情况。敌机的飞行员在钙盐和锶盐闪亮的光线里辨不清方向，再受到耀眼的探照灯光的照射，只好把炸弹随便扔下。他对和平居民的房屋乱扔了几百颗燃烧弹，燃烧弹的壳是铝造的，壳里有铝粉和镁粉，有特别的氧化剂，燃烧弹的一头有雷汞制的雷管，有的时候燃烧弹里还加上沥青或石油一类的物质来加快燃烧。按一下杠杆，炸弹就离开吊着它的钩子掉下去，炸弹爆炸时候的空气波的破坏力，比海军大炮那种重武器发射的穿甲炮弹还大。

监视着敌机俯冲的高射炮发言了。榴霰弹和高射炮弹的碎片像雨点般地向敌机飞过去。脆的钢、锑以及从煤和石油制造出来的炸药接连不断地起化学反应，连续发挥它们的破坏力量。这类反应就是我们所说的爆炸，发生在千分之几秒里；一爆炸就产生

激烈的震动和巨大的破坏力。

现在你瞧——高射炮弹打中目标了。敌机的翅膀被打穿，这个沉重的东西连同它剩下的炸弹一齐掉在地面上。油箱发生爆炸，没有扔掉的炸弹也乱炸开来，好几吨重的轰炸机一下子烧成一堆不像样的破碎金属片。

“法西斯飞机被击落一架”，——报纸登着这样简短的报道。

“激烈的化学反应已经停止，化学平衡已经恢复”，——用化学上的话可以这样说。

“对于法西斯匪帮，对于他的技术，对于他的有生力量和精神又是一次打击”，——这是我们的说法。

参加空战的元素在46种以上，占门捷列夫表里全部元素的一半。

以上我是从化学的角度来描述战争，但是我的话还没有完。战争不只是在战场上进行，战争不断地把后方和前线打成一片，把所有工业部门吸引过来为军队服务。远在后方的硫酸工厂是炸药工业的主干神经。德国以前在莱茵河的北巴伐利亚州有许许多多硫酸工厂，在它和波兰原先的国界线上也分散着那样多的硫酸工厂。

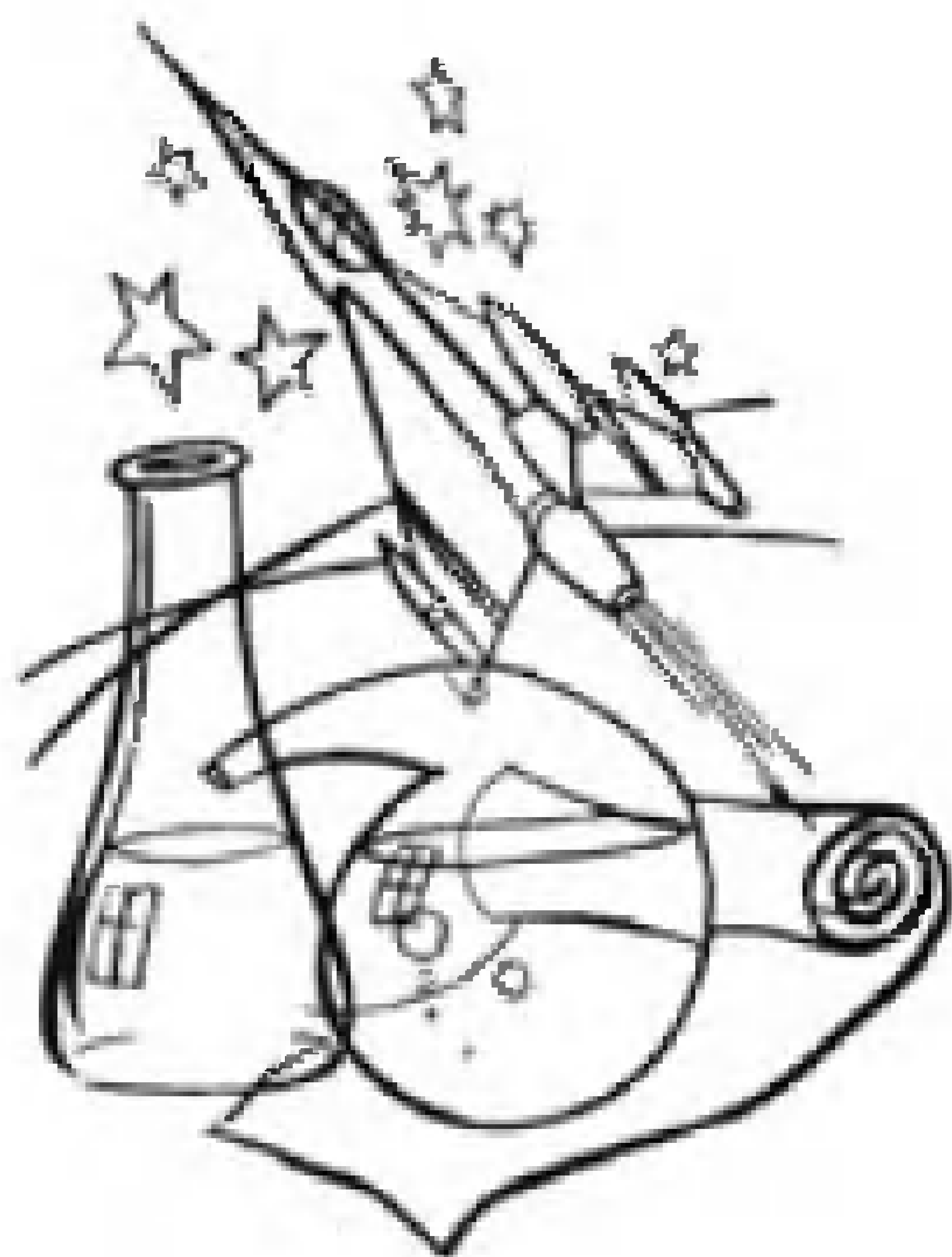
硫酸工厂需要几十万吨含硫很多的黄铁矿。又需要耐酸的特别建筑物，有用铅造的，有用铌的合金造的。耐酸的砖，特别纯净的石英原料，用钒族金属或铂族金属做的灵敏的催化剂——这些还只是巨大复杂的化学工业上很少的一部分物质，没有这些物质就不能有一家硫酸工厂，而硫酸工业是化学工业上的战斗单位，它造出硫酸来制造炸药，从硫酸工厂的废物里又能提出光电管用的硒，还能炼出铜和金。

还有制造炮弹的工厂。钢块加工要用那些会“自行淬硬”的钨钢或钼钢造的硬质工具。磨光炮弹上的重要部分要用最好的金刚砂和刚玉粉、最细的锡粉、最细的铬粉或铁粉。炮弹上另外还要镍、铜、青铜和铝合金。

炮弹造好以后就开始它的下一个化学装备的阶段：替它准备好会起爆炸的化学反应的原料，替它装好化合物的馅子。工厂要不停地工作，要把炮弹、炸弹、地雷的弹壳都加工得精确，要把地雷上的撞针或定时信管安装得正确，需要多少种不同的物质啊！

而且胜利不但要在军事工厂和军需品工厂里进行装备，它还需要全国人民的不断工作：从车床旁边的工人，拖拉机或联合收割机上的集体农民，一直到实验室里的科学家。不要忘记1919年列宁的具有历史意义的名言：

"谁的储备更多，力量的源泉更多，得到人民群众的支持更多，谁就能打胜仗。"



4 地球化学的过去与未来

地球化学思想史断片

我不打算让读者这样去想，以为现在一切都已明了，一切都已知道，全部元素都已经发现……我不希望读者认为我们的知识是很容易得到的，认为研究物质的这门科学——化学——是自发兴起的，是没有经过斗争和探求、没有经过顽强而长期的努力的。

朋友们，不是这样的。科学的发展历史告诫我们，千百年来成千上万的人都曾经为寻求科学的真理而斗争过，他们犯过错误，他们寻找过新的道路，他们在老式的地下实验室里不分昼夜地进行过研究工作，他们反对愚昧，反对教会和寺院的压迫，而努力想要了解自然。

但是自然不是一下子就能让他们了解到的！

譬如，我记得有一次我们在科拉半岛的武德亚乌尔湖岸上站着。我们的前面是一座城市，有一条公路通到这座城市去，公路上常常有汽车在奔跑着。我看了这幅景色，好不容易才想起 10 年前我初次看到的这里的苔原是什么情形：荒凉、寒冷，几乎没有生命。

现在外来的人看到这座人烟稠密的城市，看见这里笔直宽阔的公路，看见载重汽车在公路上飞跑——他所看到的是安居乐业，而决不会去想这里就在 10 年以前还是一个人迹罕至的苔原。他会想到就在不多年以前，勘探人员还在荒芜的羊肠小路上走着寻找矿石和矿物吗？他会想到，为了试掘这严寒的苔原底下的富源，为了让这个地方繁荣起来，勘探人员有的时候遇到过多大的困难和费过多大的精力吗？

科学上也是这样：我们研究现代科学思想上的成就，从已经得到的最大的成就来展望最近的将来，我们总觉得津津有味，至

于从前多少人经过了多少牺牲和困苦才好不容易逐渐打扫清那愚昧无知的丛林，我们却忘记了。

我们叫它做地球化学的这门科学，是研究地球上的化学元素史的。这部历史一定要到将来很久很久以后才能叙述完全；到了那个时候，关于物质原子结构的概念不但会变成现实，而且科学会深入钻透原子的结构，会阐明原子结构的基本特征。

现代的地球化学是在 20 世纪初期兴起的。从广义上讲，地球化学还研究化学元素的概念，还研究矿物的化学成分以及勘探矿石和矿物的时候可以注意的特征，那么这门科学的思想早在前三四百年就存在和发展起来了。

地球化学的基础是矿物学和化学，矿物学和化学经过了许多发展阶段才达到现代的状态。

人们为生存而进行斗争，所以他们早在史前时代就学会了寻找一些石头，利用这些石头来制造武器和生产工具；从那时候起，人们对于宝石的美丽早就有了深刻的印象。

到了比较高的发展阶段，人们就开始注意这样的问题：地球是什么，它的起源怎样。于是就产生了关于宇宙起源的传说，也就是产生了所谓天体演化学，后来这种传说逐渐给比较正确的见解代替了。我们知道，古代地中海沿岸各民族的文化很繁荣，当时像德谟克利特、亚里斯多德和琉克理细阿这些思想家所提出的见解都已经是相当进步了。

亚里斯多德(公元前 384 ～前 322)是古代极其伟大的自然研究者，他的观点特别重要，他早就认为地球是球形的：整个宇宙是一个球体，而地球最重，所以占着宇宙的中心；地球的周围是水，水外面是一层空气，形成所谓地圈。他认为最轻的元素是火，其次是太空。他把地球、空气、水、火和太空看做性质不同的 5 种元素。尽管亚里斯多德的许多看法都是错误的，他对于自然科学的发展却有极大的影响。马克思认为亚里斯多德是古代极其伟大的思想家，因为亚里斯多德在他的著述里概括了当时的全

部自然科学。

亚里斯多德的学生提奥夫拉斯塔(公元前 371 ～前 286 年)初次记载了当时所知道的矿物，并且把这些矿物进行分类。我们有充分的理由说，提奥夫拉斯塔不但是矿物学的创始人，而且是研究土壤和植物这两门科学的创始人。

在公元 1 世纪里出现了一部名著，是罗马的自然研究者老普林尼写的——他在公元 79 年维苏威火山爆发的时候死去。他在这部著作里除了记载幻想的传说以外，还叙述了有关矿物的许多可靠的知识，他所用的矿物的名称有一部分到今天还在使用。

从中世纪起，有关自然的确切知识在欧洲暂时停止了发展。这个时期里的自然科学和化学，主要是在东方发展的。

在 9 世纪到 10 世纪的阿拉伯思想家所写的文章里都有独到的见解，我们从这些文章里读到，有些金属在自然界里是共生的。例如，路卡·本·西拉比昂在他所写的《岩石录》的序文里说，“自然界里的石头，有聚在一起的，有彼此躲着的；有一种变成另一种的，还有一种把另一种染上颜色的”。

毫无疑问，寻找加工矿石以及制取金属和合金——这些事情经常推动着人们去想化学元素共同存在的条件。结果就知道了哪些不同的物质互相亲近和互相憎厌，这样概括出来的结论就是一些最早的地球化学定律，这些定律到今天也没有失掉它们的意义。

哲学家阿维森纳(985 ～ 1037)生在布哈拉，他的著作很重要，他写过有关矿物的文章，他把矿物分成 4 类：(1)石头和土；(2)可燃性化合物和硫化物；(3)盐类；(4)金属。

另一个著名的学者阿尔·比鲁尼(973 ～ 1048)生在花剌子模，他用阿拉伯文写了一部名著——《贵重矿物鉴定录》，他在这部著作里概括了当时的全部矿物学上的资料。

9 世纪用阿拉伯文写的有关炼金术的书，在化学发展史上有很重大的意义，因为这些书初次阐述了真正的化学研究方法的问题。

炼金术士的主要工作是合成，也就是说，他们想用已经知道的物质来制造新的物质。炼金术诞生在亚历山大里亚，然后，化学知识和实验技巧从亚历山大里亚传到亚洲的叙利亚。叙利亚人把炼金术传给了阿拉伯人，阿拉伯人又经过西班牙把它传到欧洲。

一般人都把炼金术理解成用各种金属制造金子的一种骗人的技术。其实，中世纪的炼金术士的主要意图是改善普通金属的性质，想把普通的金属变成银子或金子。可是他们要解决的问题还不止这些。他们还想找到养生的药剂和“哲人石”。

改变普通金属的实验总是不成功，炼金术士便不得不把他们的技术逐渐转到别的方面去。他们的注意力开始集中在人的健康上，而炼金术也就慢慢地变成医术了。

固然炼金术士对他们的骗人行为是推卸不了责任的，然而他们对于化学的发展还是有极大的贡献，因为他们做过各种各样的化学实验，尽管他们的动机不纯，他们还是得到了很大的成果。



勘探矿床。阿格里科拉著作里的插图（1556年）

著名的哲学家莱布尼兹对于炼金术士的批评非常恰当：“……他们是富于想象和富有经验的平凡人士，然而他们的想象和经验并不一致。他们充满着天真的希望，而结果竟把他们自己弄到毁灭的地步，要不然也是造成很大的笑话。其实，这些人从实验和观察自然所知道的事实，常常比受人尊敬的科学家知道得更多。”

文艺复兴时代来到了。这个时代标志着人类文化进入了新的、更高的阶段。

谢米格拉吉亚（匈牙利）、萨克森和波希米亚的采矿业都发

达起来，这是推动矿物学发展的第一个力量。

阿格里科拉(1494～1555)是萨克森矿业中心的一个医师兼矿物学家，他进行了出色的研究工作，不但精确而且深刻地了解矿物学和地球化学的研究对象奠定了基础。他的真名字是乔尔格·巴乌埃尔。他的遗著非常多，内容综合了当时有关矿床的知识。他的最有名的两部著作是《矿物的性质》(1546年)和《金属制品》(1556年)。他所进行的矿物分类法已经有科学的性质。他的分类法初次导入了化合物的复杂性的概念，也就是说，他的分类法是有化学原理做依据的。从那时候起一直到18世纪末，科学家在矿物学方面的全部研究工作都是根据这种分类法进行的。

瑞典化学家兼矿物学家柏齐利阿斯(1779～1848)研究了矿物的化学分析法，他把矿物初次按照化学成分来分类，这就是现代的矿物分类法，他还初次使用了“硅酸盐”这个术语。

各国的科学团体和科学院在地质学史上和矿物学史上都起了很大的作用，1657年最先成立的一个科学院——齐门特科学院在这方面所起的作用尤其大。1662年，在伦敦成立了“皇家学会”，这个组织就是现在的大不列颠科学院。

从17世纪末起，特别是从18世纪初起，科学团体、大的陈列室和博物馆都有了很大的发展。瑞典科学院以及后来在1725年在彼得堡成立的俄国科学院，在促进科学的发展上都起了极大的作用。

在俄国，地球化学思想最先清楚地表现在罗蒙诺索夫(1711～1765)所写的《论地层构造》和《论金属的产出》这两本天才的著作里面。罗蒙诺索夫首先确定了金属和矿物是会移动的。“金属会从一个地方转移到另一个地方去”，——这就是他得到的天才的结论。他奠定了矿物的新的概念，他说矿物是由于地壳进行了变化而生成的，这个概念就是20世纪新兴的一门科学——地球化学——的基础。

有好几十本书和好几百篇文章都是评述罗蒙诺索夫的；最大

的研究家、思想家、科学家、作家和诗人都用大量的篇幅分析了代表俄国思想的这位斗士。尽管这样，他们还是不可能把这位斗士阐述详尽，因为罗蒙诺索夫这位白海沿岸的阿尔汉格尔斯克人的天才是说不尽地渊博的。

我们的面前是罗蒙诺索夫的一幅巨像，他是跟冷酷的大自然作斗争而锻炼出来的伟人，他有崇高的、极其顽强的斗争精神，因而他在任何人和任何事物面前都没有屈服过。

勇敢，坚决，敢作大胆的幻想，什么都渴望知道，对一切事物都寻根究底，既善于作深入的哲学分析，又善于出色地进行实验(他认为科学离开了实验是不可想象的)，而且善于把分析和实验结合起来——罗蒙诺索夫便是这样的一个人。古代有 7 个城镇都说是保留下来了荷马的坟墓，因而它们争论了这个荣誉是应该属于谁的，而现在有 10 多门科学和艺术也在进行争论，罗蒙诺索夫在哪一门科学或艺术方面的遗著是最主要的：是物理学和化学，矿物学和结晶学，地球化学和物理化学，地质学和矿冶学，地理学和气象学，天文学和天体物理学，地质学和经济学，历史，文学，语言学还是技术?其实，拿普希金的话来说，罗蒙诺索夫本身就是一所“完整的大学”。

即便说跟罗蒙诺索夫同时代的人有不理解这位伟人的，可是当时已经出现了新的一代，他对这新的一代非常热情地教导和号召说：

啊，祖国正在衷心地
期待着你们，
想实现像别地发出的
那样的呼声。
啊，你们的时代是幸福的!
大胆地干吧，现在是够兴奋的，
你们的勤勉表示出



俄罗斯伟大的科学家罗蒙诺索夫(1711 ~ 1765)。在地质学方面，把矿物和岩石的问题跟化学上和物理学上的问题结合起来研究的方法是由他创始的。在俄国，他是地球化学思想和物理化学思想的奠基者

俄罗斯的大地上会产生
它自己的柏拉图
和智力过人的牛顿。

从那时候起过了200年，直到今天我们才亲眼看到他天才的预见和大胆的理论变成了伟大的科学真理，他希望他的祖国变成伟大而光荣的国家那种崇高的理想，已变成活生生的现实了。

罗蒙诺索夫不单把科学理解为描述各种现象，而且是解释这些现象。他认为，需要研究的不是物体的本身，而是物体的内部结构、形成这种结构的原因以及物质内部的作用力。据他理解，不管哪一门科学，全部科学的兴起都是为了解答一个大问题——物质是什么?它是怎样构成的，是由哪些东西组成的?

罗蒙诺索夫得到了结论说，物质是由一个个小粒子组成的，这些粒子都有引力、惯性和运动；这些粒子里面比较小的是简单的原子，比较大的是分子。原子和分子都是肉眼看不见的，都在不停地运动和转动着。这是一个卓越的判断，实际上是完全符合现代原子论的观点的。

差不多比法国大化学家拉瓦锡早半世纪，罗蒙诺索夫早就证明了自然界里的任何东西都不会消失掉，因而实际上他早就确定了一个伟大的自然定律——物质和能量守恒定律。

罗蒙诺索夫用物理方法深入研究了物质的基本粒子的性质，他逐渐地从物理学转到了化学……化学是研究物质成分的变化的一门科学，这门科学是跟物理学和力学分不开的。

1751年，罗蒙诺索夫在科学院的全体会议上宣读了他的辉煌的著述《论化学的用途》，他在这本著作里给新的化学开辟了广阔的前途；他抛弃了炼金术士在他们神秘的实验室里产生的那些旧思想；他给化学规定了新的内容，在那里面数字、质量和数学规律是主要的。他还把他的这种新思想应用在实践方面。

1748年，罗蒙诺索夫经过许多年的奋斗，终于在彼得堡的

阿普捷卡尔半岛上组织了一个实验室，这是俄国第一个科学的化学实验室，他在这里把物质进行了精确的度量，并且计算了物质的比率。

1752至1753年间，罗蒙诺索夫讲授了《物理化学》课程，这是全世界第一次开这门课程。“化学广泛地插手到人们的事业里去”，他说。因此他就顽强地研究了化学，为的是满足本国的实际需要。他找到了光学玻璃的新配方；他做了3000次实验，才开始制造镶嵌玻璃用的天蓝色颜料，开办了一个专门制造镶嵌玻璃的工厂；他研究了乌拉尔矿物的成分，又研究了有关硝石和磷的问题。

在这个新的实验室的许多首要任务当中，罗蒙诺索夫规定了制造纯净物质的任务。这就使他研究了纯净的金属、硝石和别的盐类，于是，从前的工艺学课程和矿物学课程就都有了新的内容。在他看来，矿物是基本物质粒子的混合体，矿物的性质由“这些粒子的相互结合方式”来决定。

石头跟一切别的物质一样，也有生有死，有自己的历史，所以罗蒙诺索夫号召大家用新的方法来研究天然的矿物。

罗蒙诺索夫把矿物的生成条件跟地质作用结合起来，他寻找矿物在地下深处和在充满着炽热的硫蒸气的火山裂缝里生成的谜的解答，他在地面上发现了动植物残骸变成石头的现象。由于他的才识过人，既是自然研究家，又是哲学家，所以从他的新的观点来看，他就把石头看做有生命的东西了。

下面就是1763年罗蒙诺索夫在他的名著《论地层》里说的一段话：

“这就是地下的情况；这就是地层，这就是别的物质组成的矿脉，这些物质是大自然在地下深处生成的。应该注意到这些矿脉的位置、颜色和轻重都不相同，所以应该运用数学上、化学上、物理学上的见解来加以思考。”

这就已经不是旧的、枯燥无味的、只描写矿物性状的矿物

学，而是一门新兴的科学——地球化学，地球的化学了。就正像他在科学思想史上第一次在物理学和化学之间的界线上创立了内容充实的物理化学这一门科学，他在化学和地质学的界线上也创立了一门新的科学，这门科学在当时还没有名称。一直过了70年，在1838年，才从18世纪初期的一位伟大自然科学家的嘴里道出了“地球化学”这个名称，这位科学家是瑞士的化学家许拜恩(1799～1868)，过了4年他说：

“前几年我早已公开表明了我的看法，我坚信，一定要先有地球化学才谈得到真正的地质科学，因为很明显，地质学一定要注意研究构成我们地球的那些物质的化学本质，研究那些物质的成因，至少也还要研究地球上的各种生成物以及埋在这些生成物里的古代动植物残骸的相对年龄。我可以有把握地断言，现在的地质学家走着前人所走的路，但是未来的地质学家是决不会永远朝着这个方向走的。未来的地球化学家为了扩大这门学科的范围，一旦化石不能充分地满足他们研究上的需要，他们就势必另找辅助的研究资料。因此毫无疑问，一到那个时候，地质学里就要导入矿物的化学研究方法。这个时期在我看来已经不怎么远了。”

在这里科学史告诉我们，怎样由于先驱的思想发展的结果而创造了新的概念和新的成就。

为了使化学上广泛存在的规律性能够适当地归结成地球化学上的定律，为了使这些规律性从天才的推测变成确凿的、经过检验的科学概括，就需要长期地、细密地研究各种事实。

俄罗斯伟大的科学家门捷列夫(1834～1907)在这方面作了巨大的贡献；到那时候为止，科学上关于整个宇宙构造的统一性这种思想还只是空想，而自从门捷列夫发现化学元素性质的周期性这个定律以后，这种思想才有了现实的根据。

从19世纪50年代起，俄国的工业很快地开始发展起来，门捷列夫正是从这时候起开始他的活动的。他热爱自己的祖国，所

以他的活动从不脱离实际，而是把他的全部精力都用在实际工作上。

他论述了石油和煤的利用，以及这两种资源的储藏和成因，他找到了无烟火药的成分，并研究了炼铁工业发展的可能性。

他认为，科学研究的最终目的是“预见和实用”。

门捷列夫的主要著作是《化学原理》，这部书的第一版是在1869年出版的，在他生前就出版了8次，在他去世以后也出版过许多次。



俄罗斯伟大化学家门捷列夫(1834～1907)，元素周期系的创始者

这部书是门捷列夫的得意著作。“我的研究方法、我的讲授经验和我真正的科学思想都在这部书里面。”

“在《化学原理》里我投入了我的精神力量和我留给孩子们的遗产。”——这是他在 1905 年说的话。

毫无疑问，化学元素周期系统的发现给化学的发展指出了新的道路，也使门捷列夫得到了全世界的荣誉。

恩格斯对化学元素周期律的评价是极高的[1]。他说：

“门捷列夫证明了：在依据原子量排列的同族元素的系列中，发现有各种空白，这些空白是表示这里还有新的元素尚待发现。他预先描述了这些未知元素的一般化学性质……不多年以后莱考克·德·布阿波德朗实际上发现了这个元素……”

“门捷列夫不自觉地应用黑格尔的量转化为质的规律，完成了科学上的一个飞跃……”

门捷列夫预言新的化学元素，修正了一部分元素的原子量，还给好多种化合物找出了正确的化学式。

门捷列夫初次把原子比做恒星、太阳和行星；按照他的想法，原子的结构很像一些天体系统的构造——像太阳系的构造或者双星系统的构造之类。

对地球化学来说，化学元素周期律是一个依据，根据这个定律就可能有系统地研究化学元素在自然条件下结合的各种定律。

化学元素周期律已经发现了，但是科学家需要有一段时间来进行巨大的研究工作，各种学派在这段时间里必然会发生斗争，科学家又得做许多次新的实验，所以这个定律过了 75 年才得到解释，才明白它对于整个世界观的意义和作用。

门捷列夫把化学现象和物理现象极其密切地结合起来研究，因而他实现了罗蒙诺索夫的名言：“化学家如果没有物理的知识，就像一个人只靠摸索来寻找一切事物。而这两门学科是这么密切

[1] 恩格斯：《自然辩证法》，苏联国立政治书籍出版社，1941 年版，45 页(译文见人民出版社 1952 年版，44 页)。——译者注

相关，没有那一门，这一门就没法达到完善的地步。”

为什么不论在过去、现在和未来，化学元素周期律在科学史上都起着异常重大的作用呢?因为门捷列夫的这张周期表非常简单，他只是把自然界发生的事实简单地排列了出来，而这些事实在一定的空间关系上、时间关系上、能量关系上和演变关系上都是可以有规则地相互对照的。这张表里丝毫没有人的主观的想法。这张表就是大自然本身。我们所能察觉到的、我们周围的这个现实的物质世界，实际上就是一张巨大的表，这张表正是按照长长的周期排出来的，是分成一个个部分的。

当然，将来还会出现新的学说，新的学说出现以后还可能消灭掉，光辉的概括和新的概念会代替过了时的概念；伟大的发现和实验会远远地超越过去的一切，会达到更新奇、更宽广的想象不到的水平——这一切都会产生和消灭，但是门捷列夫的周期律却永远不会消灭：它将来还会发展下去，会逐渐变得更精确，会继续指导科学的研究。

门捷列夫在他的著作里号召过大家为进一步发展这个定律而努力。

他在《化学原理》的一篇引言里说：

“谁要是懂得生活在科学领域里是多么自由和愉快，他就会不由地想把许多东西都带到这个领域里去，我的叙述也是从这个想法出发的。因此，我的这部书里有许多地方都不由地充满着希望，我竭力想使读者获得化学的世界观，希望这种世界观能够鼓舞读者进一步研究科学。要号召青年一代为科学服务，不要去吓唬那些懂得祖国在农业、工业和工厂事务等等实际工作方面的迫切需要的青年。只有在人们认识到真理的本身是绝对真实的时候，真理才会在生活上得到应用。”

门捷列夫时时刻刻对青年发出这样的号召。大学各个系的学生都常常涌到讲堂里来听他讲课。他的话能够折服听众，所以讲堂里的听众总是满满的。大学生来听他讲课，并不是为了学一

些死板的公式，而是为了听听这位伟大的教师的思想方法、推理方法和创造方法。

在19世纪，化学变化的研究把矿物学跟物理化学结合起来，并且在对地壳里各种化学元素配搭的理解方面导入了新的、比较正确的内容。

这个思潮在19世纪的后几年里达到高潮，并为地球化学的思想奠定了基础，使得科学家在分析矿物的生成作用的时候感到有必要去注意各种矿物是由哪些元素组成的。

尽管这样，地球化学还是没有诞生，因为那时候对于原子、元素或者晶体这些概念的本身还不清楚。

直到门捷列夫发现了周期律，物理学特别是结晶学有了较大的发展以后，原子才变成现实，结晶格子才实际上成了一种自然现象，而元素和它的性质才能够跟原子的结构结合起来研究。

这样，已经有根据来创立地球化学了，但是还需要搜集大量的事实，需要进行多次的观察，许多研究机构还应当安排大量的实验工作，所要做的复杂而又困难的实验甚至不是几百次而是几千次，这样才能拟定地球化学的正确研究方法。直到这些新的、事实上的成果跟物理学和结晶学的理论思想上的成果结合起来以后，才替现代的地球化学开辟了发展的道路。

现在这门独立的科学已经创立起来了，这主要是俄罗斯研究者努力的结果，里面也有挪威和美国的自然研究者的贡献；这门学科的目的是研究我们周围自然界的现实环境里的原子和原子的命运。

地球化学跟地质学的别的分支学科不同：地球化学并不研究分子、化合物、矿物、岩石或者它们在地质上的综合体的性质和命运，而是研究原子本身的命运，首先是研究可以用实验精密研究的那些地壳里的原子的命运；地球化学所研究的是原子的动态，是原子的移动、迁移、配搭、分散和集中等等作用。同时，地球化学的任务不但是描述和阐明门捷列夫表里每一种元素的漫

长而又复杂的全部历史，而且要把元素跟原子的性质结合起来研究，因为元素一生的命运正是由原子的性质决定的。

在苏联，地球化学已经有了精确的定义，并且得到了发展，这完全是因为俄罗斯科学家在这方面起了异常巨大的作用。拿苏联在地球化学方面所达到的成就来说，苏联的地球化学在全世界地球化学这门科学上所占的地位，完全称得起是最光荣的地位。

俄罗斯地球化学学派的基础是维尔纳茨基院士和本书作者阿·费尔斯曼院士在莫斯科大学奠定的。

美国、德国和挪威也都有一些化学家和地质学家创立了一个地球化学学派，但是这个学派的研究范围比较狭窄，跟俄罗斯学派稍稍不同。

应该特别提一下美国地质学家克拉克(1847 ~ 1931)，他在1908 年发表了一部著作，叫做《地球化学资料》。克拉克用 36 年



杰出的科学家维尔纳茨基院士(1863 ~ 1945)和阿·费尔斯曼院士(1883 ~ 1945)，俄罗斯地球化学学派的创始人

的功夫搜集了岩石和矿物的化学分析资料，他在这部书里批判地修正了大量实际材料，他对于不同地层的平均化学成分和整个地壳的成分做了概括的结论。

但是克拉克并没有把他的资料当做研究整个地球作用过程的根据。

挪威科学家福格特(1858 ~ 1932)和戈尔德施密特(1888 ~ 1947)的研究工作，对于地球化学的发展也有很大的影响。

福格特奠定了物理化学岩石学的基础，有了这门科学做依据，就可以研究岩浆的各种作用，就有广泛的可能性来计算地壳的化学成分。戈尔德施密特把结晶学跟固体的物理学紧密地结合起来而奠定了现代结晶化学的基础，他研究了地壳深层的地球化学，他在这方面是很有研究的。他写了一部很有名的著作，叫做《地壳里化学元素的分布规律》。

俄罗斯地球化学学派跟克拉克和戈尔德施密特不同，这个学派的地球化学家是广泛运用地球化学思想来解决实际问题的。

苏联地球化学家的研究工作，没有一处不在严格遵守罗蒙诺索夫的遗训——“运用数学、物理学和化学上的见解”来分析周围的自然界，他们还把门捷列夫的周期系统进行了深刻的地球化学的分析。

维尔纳茨基院士是生物界和无生物界的伟大研究者，是新的科学学派的创始者，也是俄罗斯矿物学和全世界地球化学的创立者。

维尔纳茨基是在圣彼得堡大学的数理学系学习的，1885 年他从那里毕业。

维尔纳茨基在那个大学学习的时候，年青的门捷列夫在那里起了突出的作用。这是门捷列夫发挥他的才能的全盛时代。

年青的维尔纳茨基非常爱听门捷列夫讲授化学，维尔纳茨基对他的这位教师的新思想有极大的兴趣。早在那个时候，他已经很重视实验对于得到确凿的知识所起的作用了。

就在为科学而斗争的那个繁荣时代里，另一位科学家道库查耶夫对维尔纳茨基的影响也极大，道库查耶夫是一个有稀有的创造性和钻研精神的人。维尔纳茨基听了他的课，懂得了确凿的知识和精密的研究方法的意义。

维尔纳茨基读了道库查耶夫的经典著作《俄罗斯的黑土》，因而对于土壤有了深刻的了解，知道土壤是一种特别的物体，是自然而然生成的，是历史的产物，维尔纳茨基在生物地球化学上的许多思想，就是受了道库查耶夫的科学思想的影响而产生的。

维尔纳茨基一生所经历的道路，就是坚强的劳动和光辉的创造思想的道路，他在这条道路上发现了许多完整的、新的科学领域，并且拟定了苏联自然科学发展的几个新的方向。

维尔纳茨基又是一位科学史专家，他总是根据研究历史的原则和方法来研究自然科学。

他也这样要求他的学生，说明一个问题的时候要把这个问题



维尔纳茨基院士和他的莫斯科大学青年学生，1911 年的照片。
坐在当中的是维尔纳茨基，站在右面的是阿·费尔斯曼

的历史研究得很透彻。他说："历史学家用深人研究历史的方法来理解人类过去的命运，自然研究者必须向他们学习这种方法。只有利用这种方法，我们才能做自然史的专家。"

从1890年到1911年，也就是差不多有25年的功夫，维尔纳茨基一直在莫斯科大学工作，担任矿物学和结晶学教授。

应该指出，在维尔纳茨基以前，莫斯科大学的矿物学讲授内容只限于枯燥地描述各种矿物。矿物标本也没有好好整理。维尔纳茨基不但整理了这些标本，而且把他在好多次勘查和旅行期间亲自收集到的矿物添了进去，因而丰富了标本的内容。他时常领着学生到俄国各地和国外去旅行，他认为这样的旅行对于培养未来的科学家是有重大的意义的。维尔纳茨基根本改变了矿物学的讲授内容：他使矿物学不再是枯燥地描述矿物的学科，他在历史的基础上创立了化学的矿物学，并且把结晶学分出来当做一门独立的课程。他创立了第一个科学的矿物学小组，莫斯科的所有矿物学家都是这个小组的成员。同时，他要求他的同事和学生一定要实地进行实验来记述化合物和矿物的物理和化学性质，这些实验的完成对于创立新的矿物学学派起了极大的作用。

这就是俄罗斯化学的矿物学的起源，也是后来地球化学的起源。这样，在维尔纳茨基的指导下，他的学生就在莫斯科大学形成了一个研究矿物学和地球化学的学派，他们的研究工作得到了辉煌的成就。

维尔纳茨基经过多方面的思考和有计划的研究而熟悉了各种矿物的许多矿床，结果，他的大部头著作——《叙述矿物学实验》的第一卷在1906年出版了(全书在1918年出齐)，这部著作是矿物学方面的一部经典巨著。

1909年，维尔纳茨基当选为科学院院士。1911年，他到彼得堡去工作了。

他开始了他生活上的一个新的阶段；如果说在这以前的20年里是他创立新的科学学派的年代，那么在这以后——在彼得堡

工作时期是他组织巨大的、新的科学研究工作的年代。

从创立新的科学学派到组织科学研究工作，这决不是一个很容易的转变。维尔纳茨基到了彼得堡以后很怀念莫斯科。他辞去了教学的职务，想在科学院里集中全部精力来做科学研究工作。维尔纳茨基进科学院的时候，科学院里领导地质学研究工作的卡尔宾斯基——也是一位伟大的俄罗斯科学家，对俄罗斯平原的地质构造的研究就是由他奠定基础的。

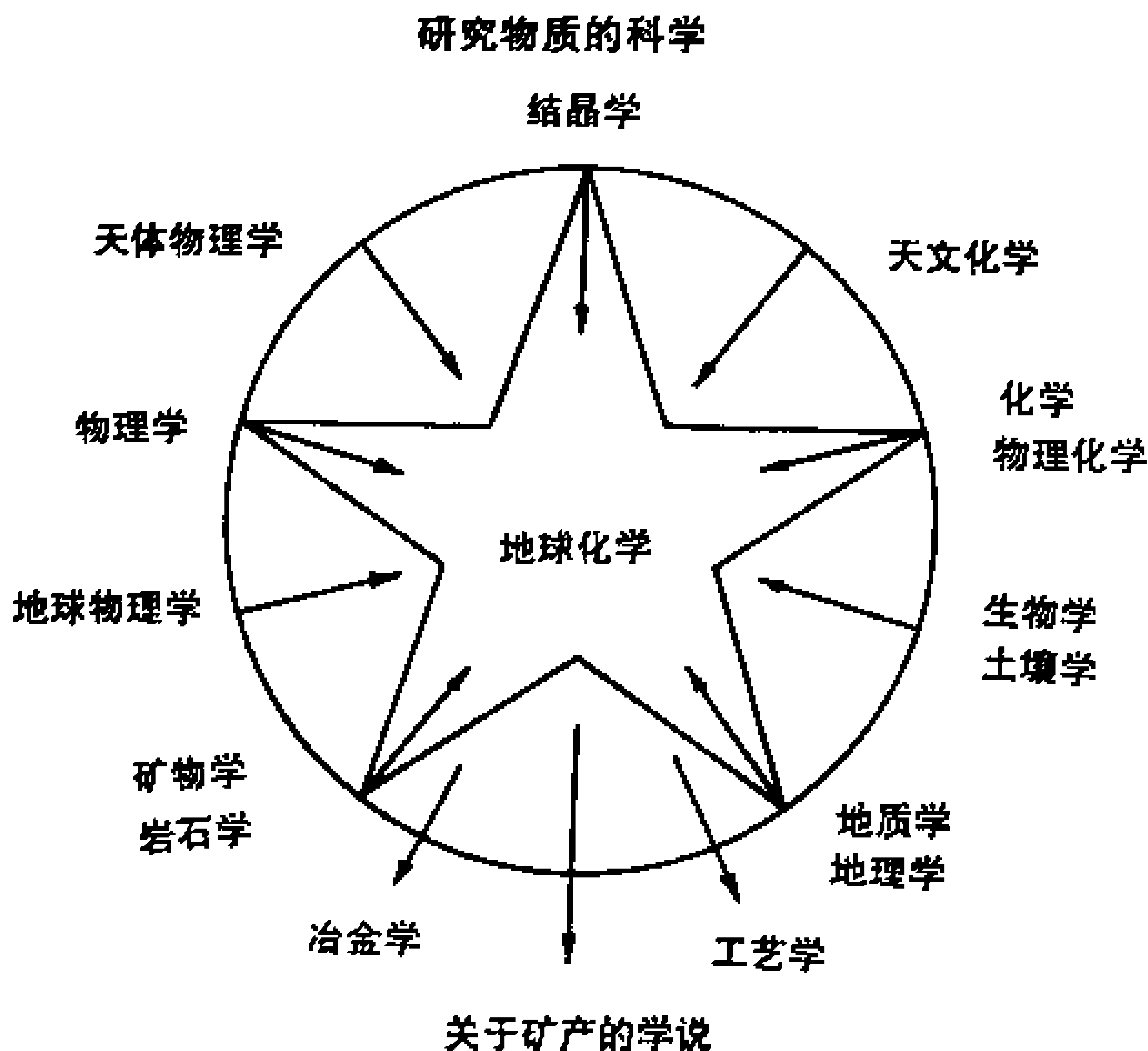
维尔纳茨基用光谱分析法广泛地研究了俄国各种岩石和矿物里稀有的和分散的化学元素的分布情况，并且第一个提出一定要在俄国各地广泛地和有计划地研究放射现象的问题。

1922 年，他跟赫洛平院士共同创办了镭研究所，他们在这里研究出利用镭放射性蜕变以后变成铅和氦气来测定岩石年龄的精密方法。

直到今天,维尔纳茨基说过的话仿佛还在我们耳边萦绕:“我们正在走向人类生活上的一个伟大的转变，这个转变是人类以前经历过的一切转变都比不上的。过不多久，人就会掌握原子能，这种动力的源泉可以使人随意建立自己的生活。这种情况可能在最近的将来实现，也可能过一个世纪实现，但是显然,它是一定会实现的。人是不是会利用原子能这种动力,把它用在和平事业上而不是用来自杀呢?科学既然不可避免地要把这种动力交给人去使用,那么人是不是已经学到了使用这种动力的本领呢?科学家决不应该闭着眼睛不看自己的科学研究工作和科学方法可能产生的后果。他们一定要对由于他们的发现而产生的后果负责。他们一定要把自己的研究工作跟全人类最好的组织工作结合起来。”[1]

结果维尔纳茨基创立了一个新的、放射性地质学学派，镭的科学研究工作也就大规模地开展起来。几年以后，他开始发表一部大部头的巨著——《地壳里的矿物史》(1923 ~ 1936),这部著作的科学价值异常巨大。可惜这部著作没有写完。同时，他把他

[1] 这段话出自《随笔和谈话》(1922 年版)。——编者注



地球化学和跟它有关的科学

的卓越的地球化学思想归结成一个统一的整体，出版了一部著作，叫做《地球化学概论》(1927～1934年)。

旧的观点是把矿物看做复杂的分子来进行研究的，维尔纳茨基在《地球化学概论》里通过许多种元素指出，极其重要的是抛弃这种旧的观点而改来研究原子的本身，研究原子在地球里和宇宙里的迁移的途径。

1928年，维尔纳茨基在科学院里创立了生物地球化学研究所，这样，他就成了地球化学的一个新的分支——生物地球化学的奠基者。这门科学的任务是研究活的有机体的化学成分，研究活物质和活物质分解以后的生成物怎样使化学元素在地壳里进行迁移，怎样使化学元素分布、分散和聚集在地壳里面。

1935年，科学院搬到了莫斯科。于是维尔纳茨基也就第二次来到了莫斯科，在1935～1945年期间，他最注意的是生物地球化学的实验工作；他亲自领导研究了碳、铝和钛的生物化学作

用，并且提出了应该绘制生物圈的地球化学图的问题。

100多年前早已有了“地球化学”这个名词，但是真正科学的地球化学只是在最近30年里才诞生，是在新的、努力探索的年代里诞生的；不论过去还是现在，苏联的科学对于创立地球化学都起了并且起着特别的作用；苏联的科学正在一日千里地前进着，它发展着许多新的知识部门，它在它的成就和目的里是把理论和实际结合起来的。

化学元素和矿物是怎样命名的

这个问题是我们大家都感到兴趣的。成千上万种元素、矿物和岩石的名称不是很难记住吗?可是如果懂得了每一个名称的含义，恐怕就比较容易记些。

读者们，也许你们中谁的手头有我写的《岩石回忆录》，那本小册子里讲过一段开玩笑的故事，内容是新的矿物和基洛夫斯克铁路新车站得名的由来。特别可笑的是那里一些年老的铁路员工，例如他们给一个车站起的名字是“非洲站”，原来只是因为他们到那车站去的那天非常热，热得和在非洲一样。

奇怪的是另一个车站叫做“钛”，可是在这个车站附近，钛矿石连一点影子都没有。

但是应该认识，不但年老的铁路员工这样做，过去和现在化学家和矿物学家在发现某种新物质的时候也是这样做的：爱起什么名字就起什么名字；而我们现在却一定要记准这些名字。固然在化学里比较简单些——那里，需要给想个名字的，一共不过100种左右的化学元素。矿物学上的事情却复杂得多，眼前已经知道的矿物有2000种左右，每年还新发现二三十种。

我们先来谈谈那些化学元素的名字，整个化学科学就是建筑

在这些元素的基础上的；元素的化学符号是这些元素的拉丁文名字的前一两个字母，例如：Fe(Ferrum——铁)，As(Arsenium——砷)等等。

化学家和地球化学家常常喜欢拿国家或者地方的名字来做新元素的名字，某个国家或者某个地方新发现一种元素或者第一次发现某种元素的化合物，就用这个国家或者地方的名字。

所以有些元素的名字一看它原文就完全明白，而且容易记住，例如铕(Europium——欧洲)、锗(Germanium——德国)、镓(Gallium——法国的旧名高卢)、钪(Scandium——斯堪的纳维亚)；可是也有一些名字很难懂，也很难记，因为是用了某些国家或者地方的古代名字。有一部分元素甚至很难猜透它们是怎样得名的。

例如，1924 年哥本哈根发现一种新元素，把它叫做铪(Hafnium)，原来这是从谁都不知道的丹麦首都的旧名字来的。镥(Lutecium) 的得名也是这样，它是从巴黎的旧名字来的。金属铥(Thulium) 的命名则是根据古代瑞典和挪威的斯堪的纳维亚语名字。

金属钌(Ruthenium) 是俄国科学家克劳斯(P. Клаусс)在嘉桑发现的，为了纪念俄国才起的这个名字，可惜连许多有经验的化学家都猜不透这点。

瑞典首都斯德哥尔摩附近有一个长石矿坑非常有趣：许多新元素都采用了那里一个叫依特比的伟晶花岗岩矿脉的名字，镱(Ytterbium)、钇(Yttrium)、铒(Erbium)、铽(Terbium) 便是这样得名的。

许多元素是根据它们的物理性质和化学性质来起的名字。这样仿佛比较合理，可是只有精通古代希腊文或拉丁文的人才懂得和记得住这些名字。

因为好多种元素是根据它们在光谱里显示的谱线而发现的，于是就拿这些光谱线的颜色来称呼它们——铟(Indium) 表示蓝



辉锑矿

色，铯(Caesium)表示天蓝色，铷(Rubidium)表示红色，铊(Thallium)表示绿色。

有一部分元素是用它们的盐类的颜色来命名的，譬如铬(Chromium)在希腊文的意思是“颜色”，因为铬盐的颜色很鲜艳，又譬如金属铱(Iridium)的原意是指“彩虹”，也因为它的盐类是五颜六色的。

大多数化学家还研究天文学，他们用行星或者别的星体的名字来称呼元素。铀(Uranium——Uranus 天王星)、钯(Palladium——Pallas 智神星)、铈(Cerium——Ceres 谷神星)、硒(Selenium——Selene 月)、氦(Helium——Helios 太阳)都是这样得名的。里面只有氦这个名字的含意比较深刻，因为氦最初是在太阳上发现的。

还有许多元素的名字是纪念古代传说里的神和女神的。钒(Vanadium)是纪念女神凡娜吉斯的；钴(Cobaltum)和镍(Niccolum)是银矿里有害的成分，据说是从萨克森矿坑里两个凶恶的地神的名字来的。

钽(Tantalum)、铌(Niobium)、钛(Tianium)、钍(Thorium) 这 4 个名字是从古代神话里取来的，没有别的了不起的根据。锑(Stibium) 多半是从希腊文里的“杂色”得来的名字，因为辉锑矿的晶体聚集成束状，像一束杂色的花。

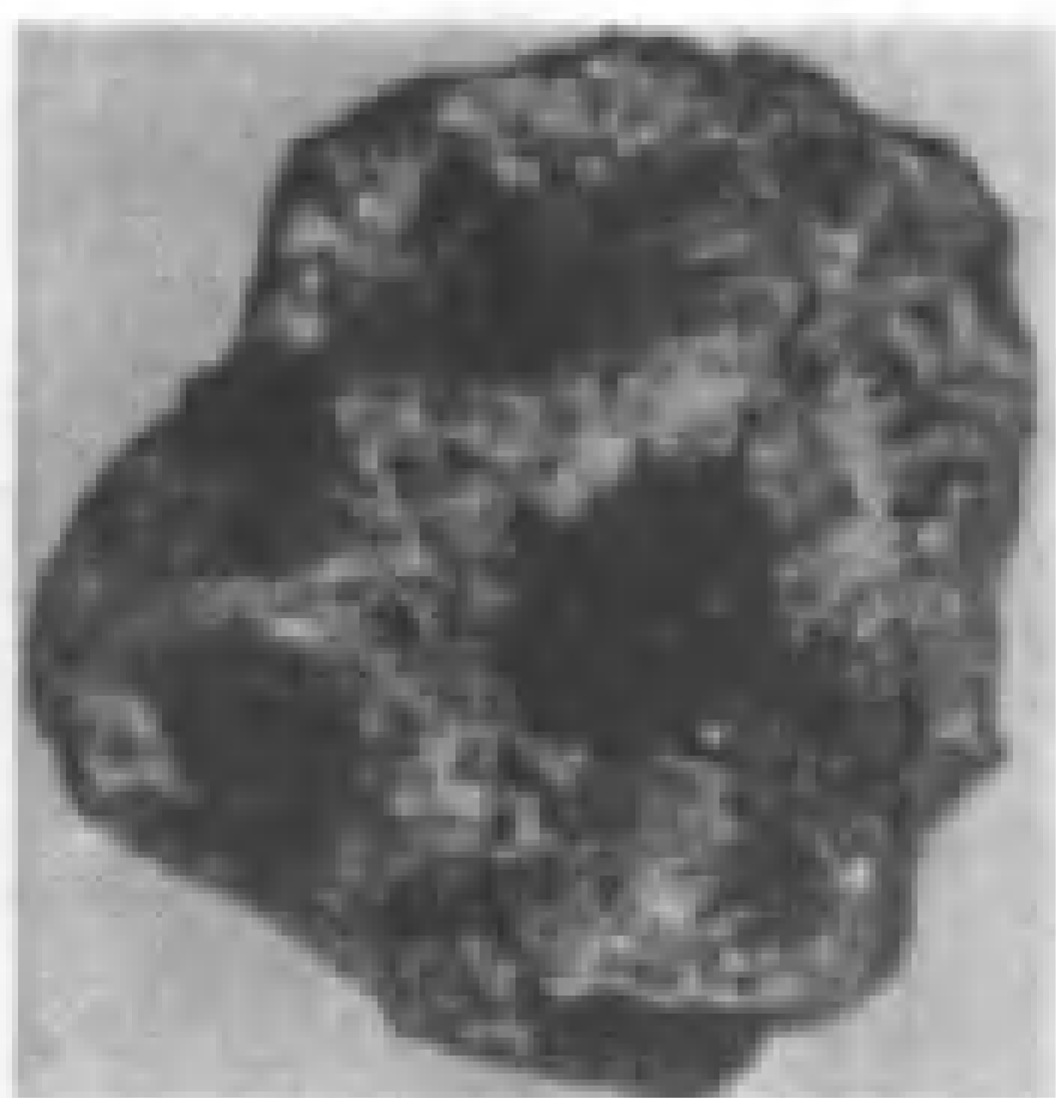
人们对于全世界闻名的大科学家的名字很少注意。有一种矿物叫做加多林石(硅铍钇矿)是为了纪念俄国教授加多林(A. B. Гадолин)的，元素钆(Gadolinium)就是从这种矿物得的名字。

还有一种矿物叫做萨马尔斯基石(铌钇矿)，最初是在乌拉尔的伊尔明山找到的，据说这个名字是纪念俄国某一个萨马尔斯基

(Самарский)上校的，于是又把从这种矿物里新发现的一种元素叫做钐(Samarium)。

钌、钆、钐这3种元素的名字纯粹是从俄国来的。

除去上面所说的这些复杂的和没有什么重要根据的名称以外，差不多有30种元素的原文名称是用古代阿拉伯文、印度文或拉丁文的字根。



萨马尔斯基石(黑色)

金(Aurum)、铅(Plumbum)、砷(Arsenium)等等名字的起源一直在争论不休，没有解决。最后是新发现的4种超铀元素：93号的镎(Neptunium)和94号的钚(Plutonium)是用行星的名字(Neptune 海王星，Pluto 冥王星)；95号的镅(Americium)是指美国；96号的锔(Curium)是纪念居里夫人。

你们看，这些名字多乱！有希腊文、阿拉伯文、印度文、波斯文、拉丁文和斯拉夫文的字根，又有神、女神、行星和别的星体、地方、国家和人的名字，大多数没有准则，而且缺乏深刻的意义。

科学家也的确想过，想把元素的名称整理出个头绪来，可是元素的种数毕竟有限，也不值得这样做。至于矿物名称的问题却是另一回事了。

在这个问题上，地球化学家和矿物学家应当根本改变他们的作风：要知道，每年要给25种以上新发现的矿物起名字，而矿物在以前的命名法呢，譬如有一种矿物叫劳拉石(硫钌锇矿)，竟采用的是某化学家的未婚妻的名字，许多矿物名是从忠诚的感情出发，为了尊敬某些公爵和伯爵而用了他们的名字，其实他们与这些矿物毫无关系，例如乌瓦罗夫石(钙铬石榴石)就是由乌瓦罗夫伯爵得名的，——难道这种情形也可以容忍吗？



乌拉尔东部穆尔津克矿所产的黄玉

最后，有些矿物的名字太古怪，不好念，譬如安潘加巴石(铌钛酸铀铁矿)这种矿物最初发现在马达加斯加岛上的一个叫安潘加巴的地方，就取了那个小地方的名字做矿物的名字。关于矿物的名称是矿物学史和化学史上最有趣的一页。到今天为止，许多矿物名称的起源还没有研究清楚，有好多种矿物的名字是采用古代印度文、埃及文和波斯文的字根的。土耳其玉和祖母绿的原文是从波斯文来的，黄玉和石榴子石的原文是从希腊文来的，红宝石、蓝宝石和电气石的原文都是印度文。

把发现矿物的地名当做矿物的名字，这种情形很不少。譬如，下面两种矿物是苏联人很熟悉很容易记住的：伊尔明石(钛铁矿)是用乌拉尔南部的伊尔明山命名的，贝加尔石(易裂钙铁辉石)是因为贝加尔湖得名的，牟尔曼石(硅钛钠石)是因为牟尔曼斯克省得名的。苏联人最感兴趣的是莫斯科石(白云母)，这个名字和莫斯科有连带关系，它是有名的含钾的云母，在电工业上的用途很大。很多矿物的名字是纪念著名的研究家、大化学家和矿物学家的。我们知道，舍勒石(重石)是纪念著名的瑞典化学



云母页岩里的红榴石晶体

家舍勒的，歌德石（针铁矿）是纪念诗人兼矿物学家歌德的，门捷列夫石（富铀黄绿石）和维尔纳茨基石（水褐铜矾）对于苏联人民来说更是熟悉的。

有几种矿物的名字是代表它们的颜色的，这样的命名法应该承认是恰当的，但是要记住这类名字的原文也常常需要会拉丁文或希腊文。例如，海蓝宝石（原文的意思是海水的颜色）、雌黄（原文的意思是金黄色）、白榴石（希腊文的原意是白色）、冰晶石（希腊文的原意是冰）、天青石（拉丁文的原意是青天）。

不少矿物的名字表示它们的物理性质和化学性质。例如，有像银子那样的光泽的一类矿物叫做辉矿类，有像铜或青铜的光泽的一类矿物叫做黄铁矿类，能够顺着一定的方向劈开的一类矿物叫做晶石类，含有某种金属却很难根据它的外表来看出的一类矿物叫做闪石类，它的俄文意思是“欺骗”的。有些矿物有沥青的光泽，所以叫做沥青矿。金刚石的俄文名字是从希腊文来的，它的意思是制服不了的。

最后不能不承认，许多矿物的名字是用它们成分里重要的一种元素的名字，这种命名法也是正确的。譬如，纤核磷灰石、黑钨矿、辉铜矿等等。

许多矿物的名字特别有趣。有一部分和一连串的神话有关系；有一部分的含义炼金术士严格保守了秘密。例如，石棉的原文是希腊字，是说不能燃烧的。软玉的原文意思是根据中世纪错误的想法，以为可以用它治疗肾病。似晶石的原意是指虚伪的，因为它漂亮的红葡萄酒的颜色受太阳照射几小时以后就消失了。

磷灰石在俄文里有一个名字叫“骗子”，因为很难把它和一些别的矿物区别开来；最后，中世纪的人们认为紫水晶有防止酒醉的神秘性质，所以它原文的意思就是防醉。

从上面简短的叙述里，你们就知道矿物名称的来源是多么复杂。

难道不可能把矿物的名字整理出个头绪来吗?开一个国际会

议，制定新发现矿物的命名原则，使矿物的名字能够代表它的性质而且容易记忆，使矿物的名字系统化，由它们的名字来把成千种矿物分成多少类，——这难道不是可能的吗?

我们建议：给矿物起的名字不要太长，别让学生因为难懂难记而感到苦恼，每一种岩石的名字，动物和植物的名字也一样，都要和它的特性有密切关系。使每一个人都容易记住。我们相信，在未来还要继续欣欣向荣的化学和地球化学里，这个小小的建议是会被采纳的。

今天的化学和地球化学

咱们都生活在物理学和化学已经取得了非常巨大的成就的时代。

旧的金属——铁开始被别的金属代替，或者和许多稀有金属配搭起来用。

玻璃、瓷器、砖瓦、混凝土和矿渣里复杂的硅的化合物正在代替旧的钢铁结构。

有机化学——研究碳的化学近年来得到巨大的成就，大规模的工厂早已代替了种植蓝草的田野和橡胶园。

在这些工厂里从干馏煤的产物制造出合成橡胶和染料，人造染料在今天不但完全代替了天然的植物染料，而且大大扩充了染料颜色的种类。

的确，全世界都在沿着科学、经济和生活的化学化的道路前进；化学已经渗透到我们日常生活的每一个细节，渗透到工厂里复杂器械的各个部分。

在化学化的同时，人们越来越广泛地研究天然的富源，研究农业上和工业上大量需要的矿物原料，这点是完全可以理解的。

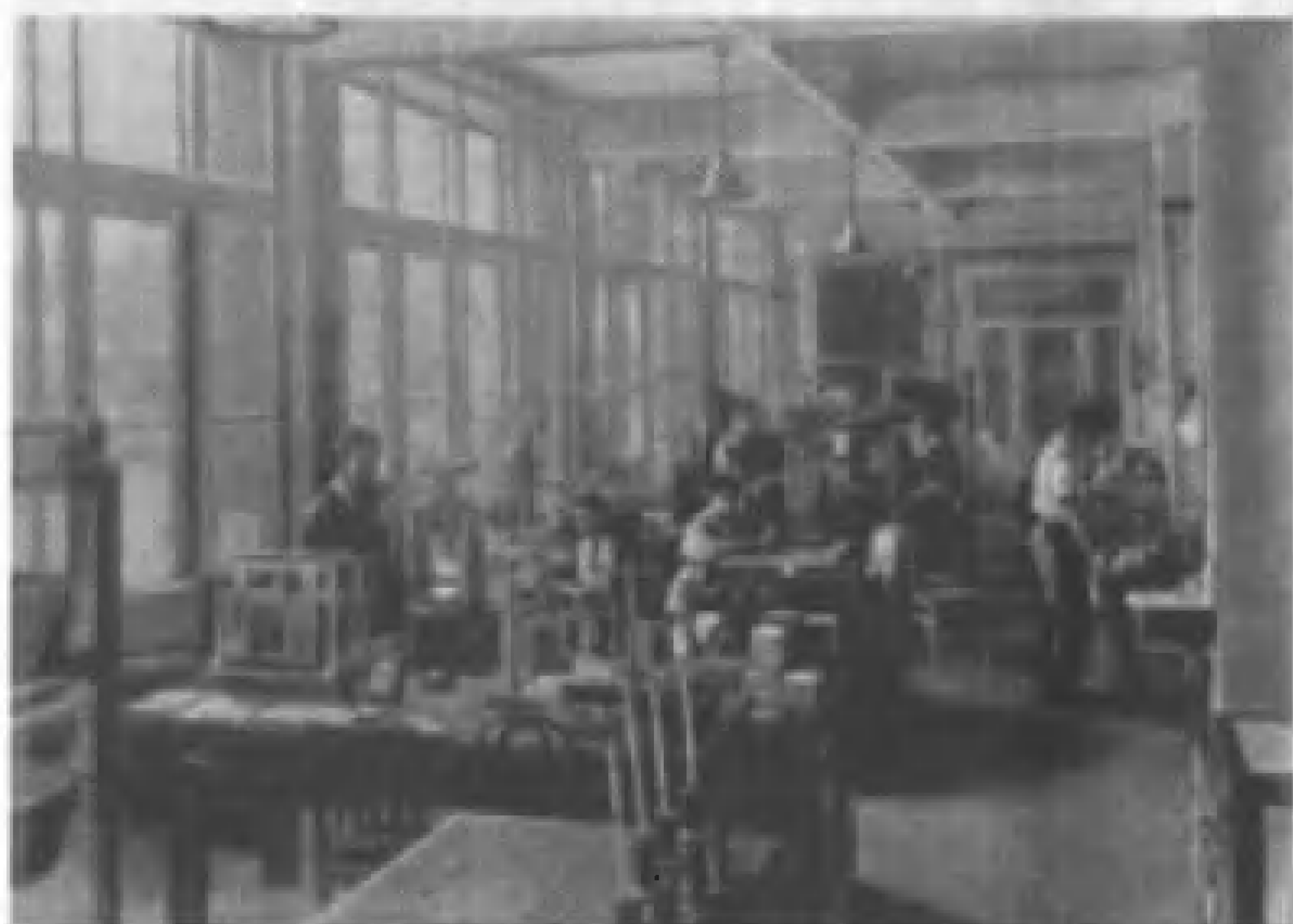
地球化学和化学紧密地结合在一起，常常很难给这两门科学划清界限。

设立专门的科学研究所和实验室，在今天来看，是发展化学工业的基础。我们怀着感激的心情想起了著名法国生物学家巴斯德的话，他在 1860 年就说过：

“我恳求你们多注意神圣的处所，这个处所叫做实验室。你们务必多多设立实验室，要把实验室装备得更好。要知道，这是关系着我们的未来、我们的财富和幸福的殿堂。”

苏联在伟大的十月社会主义革命以后广泛地建立了有关化学的各科研究所的网。已经建立了许多规模很大的专门的化学研究所。这些研究所中有许多在研究地球化学上的问题。有些研究所研究铝矿石在工业上利用的方法得到了成功，有些研究所成功地解决了使用硼和硼的碳化物的问题，还有一些研究所多方面地研究了苏联天然出产的盐类和许多元素——稀土元素、铂族金属、金、铌、钽、镍等等。

为了研究地质学上更加专门的问题，苏联科学院特别设立了



试验矿物的物理性质的实验室

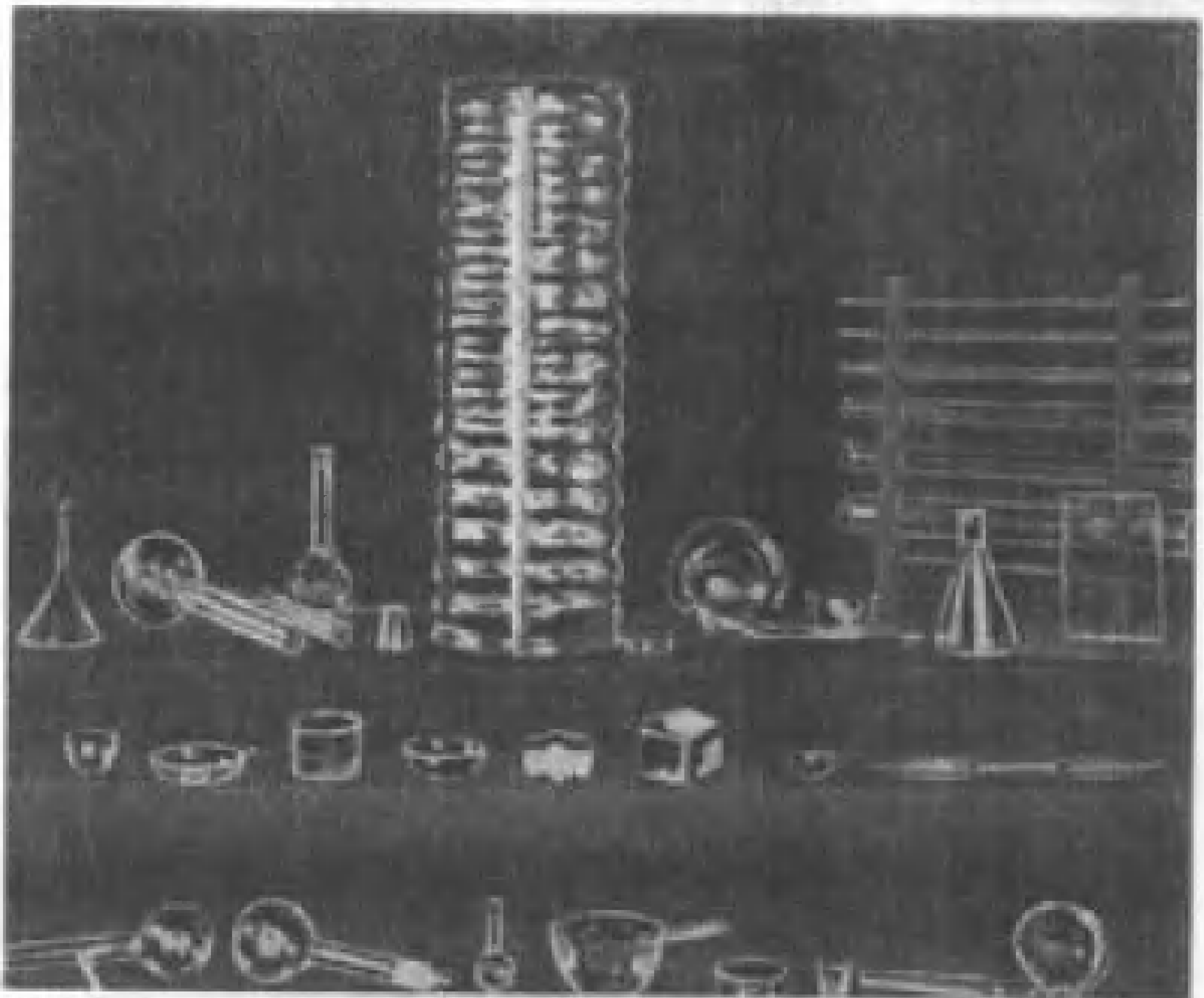
地球化学研究所来进行一系列的研究工作，为综合苏联对于地球化学的思想打好了基础。

门捷列夫学会继承了俄国物理–化学协会的光荣传统，广泛地宣传了化学的思想；门捷列夫学会总会和分会团结了几千个会员。

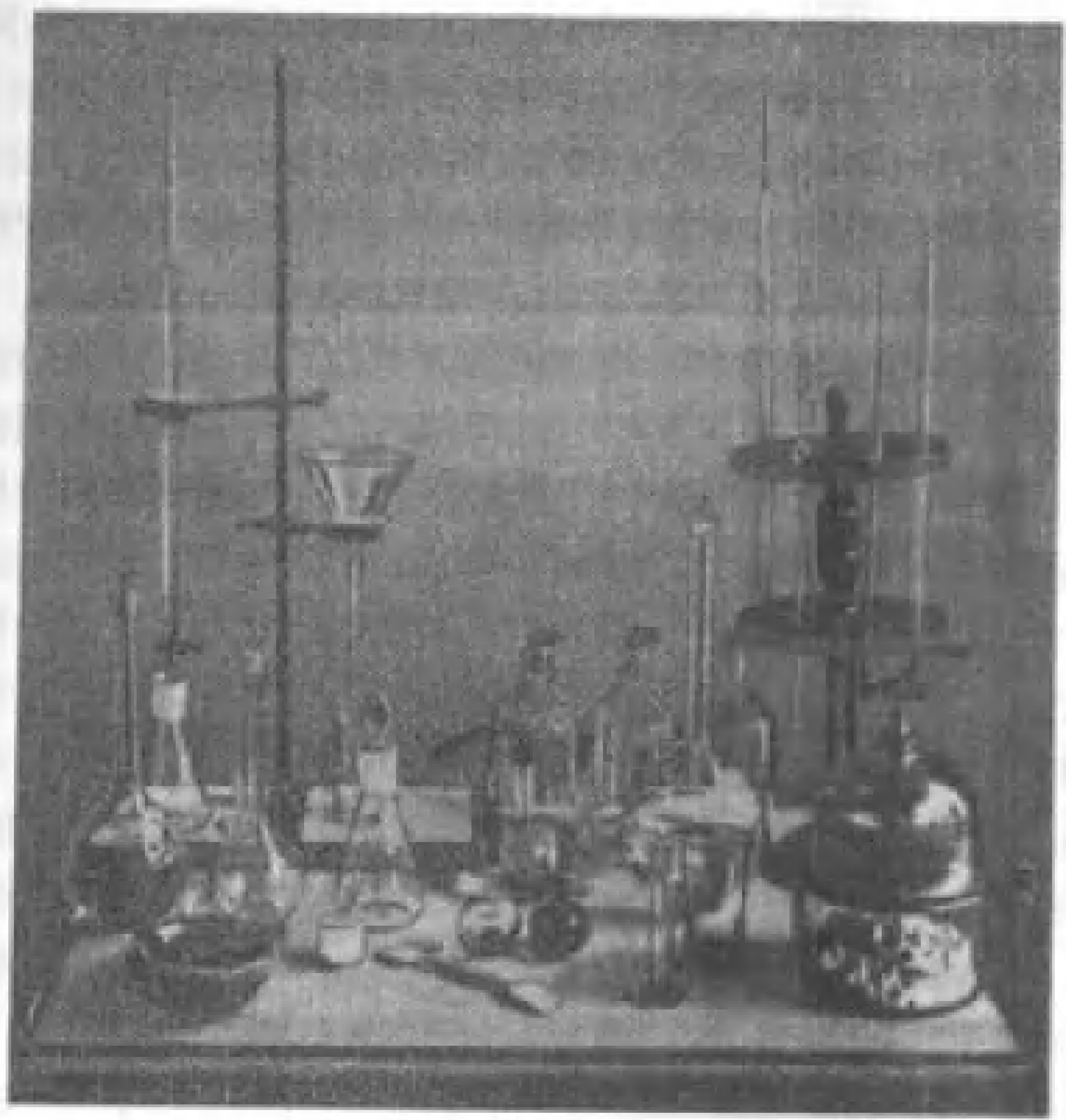
这里还不能不提一下苏联矿物学会，它是 1817 年在彼得堡创立的，到现在为止它一直在努力研究矿物学、岩石学上的问题和关于矿产的学说。

地球化学在苏联已经得到社会上普遍的承认，地球化学的思想已经渗透到研究矿产的一切领域。

苏联有一位化学家算过，最近 30 年里各种杂志刊载有关化学的学术论文在 100 万篇以上；近年来出版的研究化学的著作有 6 万～8 万种。如果要想了解一下这全部文献，也有专门的杂



石英制的化学仪器



玻璃制的化学仪器

志，这些杂志把全世界用30种以上的文字出版的3000种化学杂志上的文章摘录下来。

可是，当我们说到近年来所进行的许多研究工作的时候，我们不应该忘记，它们绝大多数是涉及碳的化合物的，有的是讲纯粹技术上的问题的，只有2%左右与地球化学上的问题比较接近：研究地壳上物质的问题，研究各种物质的分布、迁移、构造、结合和形成工业上所利用的大量聚集的矿石。

苏联各地科学研究所和社会团体的科学活动以及科学作品的出版工作都在增长，同时，对于化学提出的主要任务也越来越深刻和广泛。虽然罗蒙诺索夫已经去世了将近200年，可是他在1751年讲授物理化学的时候在绪论的一段里所说的话，今天还

可以当做研究化学的基本口号:"研究化学有两个目的，一个是发展自然科学，一个是促进生活福利。"

事实上也是这样：化学和物理学一起不但发展了自然科学，而且替我们揭示了自然界里眼睛看不见的秘密；科学和技术告诉了我们，构成世界的原子是多种多样的。

由于化学学科的成就，现代的工业造出了差不多 5 万种的各种元素的化合物。还不算有机化合物在内，在实验室研究和制造过的有机化合物,就超过 100 万种之多。实验室制造的新的化合物还在不断增加。

这些数字比起我们知道的天然化合物的 2500 种要大得多! 不过，为我们讲授化学的第一个老师不是别人，正是自然界。矿物原料是我们工业的基础。矿物原料决定着化学实验室的研究方向，物质的结构和化学反应的过程也都是从自然界的物质研究出来的。

这就是为什么正是地球化学在化学和地质学之间架起了一座桥梁的道理。地球化学研究世界上矿物原料的性质和储藏量，它不但和结晶学在一起揭示了晶体的结构，而且确定了发展工业的道路。

可见，从地质学到地球化学，从地球化学到化学和物理学，这几门科学结合成了一条连锁。而所有这些科学的最后目的，不但要发展自然科学，而且像罗蒙诺索夫说的，还要促进生活福利，这正是现代人类努力奋斗的目标。

正是这个问题——怎样制造新的有价值的物质和掌握国民经济上需要的原料成了今天最大最主要的刺激因素。技术和地球化学紧密地结合起来，研究矿石和盐类的性质，阐明稀有元素在这些矿石和盐类里的分布状况，找出地下富源的最好、最充分的利用方法。

而化学、地球化学和技术的结合就保证了现代化学工业的发展。

我不想让你们多费时间去注意化学和化学的各分支科发展的结果已经和还要给我们带来什么样的幸福；关于这个问题，我在前面讲人类史上的原子的时候已经提过；后面讲未来的科学和它们的成就的时候也还要讲到。

现在要谈另一个问题：现代的化学研究家在推动着科学的发展，他们设立了科学实验室，因而控制了我们周围的世界，那么他们究竟是一些什么样的人呢?他们应该成为一些什么样的人呢?

过去的化学家从岩石里提炼出各种物质，各种元素，就在实验室和研究室里研究它们，不管时间和空间，不管研究的对象和整个自然界之间的联系。

可是现在人们发现，整个宇宙是一个复杂的体系，里面各个部分都是互相紧密关联着的，它像一个大实验室，有各式各样的力量在进行冲撞、结合和斗争，只是由于各种原子、电场和磁场斗争的结果才在某些地方生成了某种物质，而在另一些地方破坏了某种物质。

世界是一个大实验室，它的内部彼此都有联系，正像机器上的各个齿轮一样。所以现代的化学家代替了关在实验室里的老式研究家，用新的眼光来看待每一种原子，把原子的命运和整个宇宙的命运紧密地结合起来看。现代的化学和地球化学所以那样接近，正是因为这个缘故。

现代科学家的任务改变了：它不单叙述周围自然界里个别的现象和个别的事实；不单观察他的实验室里某些实验的结果。他研究物质，就是说他应该了解，物质是怎样生成的，为什么会生成，它将来又会怎样。

他们不单广泛地从哲学上来讨论自然界的规律，还应该研究这些规律在我们周围的全部经历，还应该揭示各个现象之间的复杂联系。

研究家不应该把自然界的各个现象不关痛痒地描写一番或者照一张相，而是应该想办法去征服它，让它服从自己的意志。新

型的研究家不应该是一个实验室里的手艺匠，而应是一个新思想的创造者，要在和自然界的斗争里产生新的思想来控制世界。

现在化学家应该和天文学家一样，能够预先见到：他的经验不是实验室的瓶子里各个偶然发生的反应的总和，而是创造性的思想、科学的幻想和深入的思考的成果。现代的化学家应该懂得，科学上的胜利不是很快取得的；它是各种思想经过长期的考验和酝酿而逐渐积累起来的；它是在漫长的岁月里，有时候经过多少代科学家的辛勤探索的结果；它往往是注满一杯水的最后一滴。

这就是为什么现代科学上的某种发现时常在不同的地方同时完成，为什么许多科学家差不多在同一年代里想起怎样最有效地征服我们周围的世界。

要工作有成就，就要善于观察和搜集事实。这在地球化学上是非常重要的问题之一。我们应该承认，研究家常常埋头研究理论，有的时候被逻辑上严整的概括所迷惑，他们就不再观察，因而忽略了模糊不清的、与他们原来的概念不一致的事实，而这些事实恰恰是某种新发现的关键。对于新鲜事物敏感，对于旧的、因袭下来的假说的及时排斥，这是一个真正的科学家必须做到的。

也许不少人在想，发现都是偶然碰上的，伦琴只是偶然在荧光板上看见 X 射线的作用，遥远的西伯利亚的大量的碳酸锰矿也是偶然发现的。可是要知道，这种偶然性不是别的，而是能够善于观察新鲜事物的结果。

许多年来有多少勘探工作者打从那些白色的岩石旁边走过，他们把盐酸滴在岩石上，一看发生嘶嘶的响声，相信这是单纯的石灰石，于是就轻易地放过了！可是仔细看看，这些白色岩石的裂缝里和表面上有的地方盖着一层黑色的皮，这不是什么外来的，而像是从白色的岩石里长出来的。这样就发现了西伯利亚储藏量很丰富的锰矿。所以说，这个发现不是偶然的，而是深刻的、始终一贯的观察和实际的知识导出的结果。

谈到善于观察，罗蒙诺索夫指出了这个问题的另一面，他说得非常中肯。他说，应该从观察来确定理论，又要通过理论来修正观察；罗蒙诺索夫是完全正确的，因为任何精确巧妙的观察都是从理论产生的，而任何理论也只有建立在大量精确的观察和正确叙述的事实上才有意义。

那么真正的地球化学家应该是什么样的人呢？

真正的地球化学家一定要意志坚定，毫不动摇地向一定的目标前进，他应该是求知欲很强的观察家，有活泼的、青年人的想象力，所谓思想上精神上是不是年青，并不看他的年龄，而是看他对事物的感觉是不是敏锐。他应该有极大的耐心，有坚韧不拔的精神，热爱劳动，而最要紧的是能够把工作坚持到底。

怪不得 19 世纪伟大的科学家富兰克林说，天才就是能够进行无限制劳动的能力。

可是科学家还要同时有正确合理的思想和活泼的科学幻想。他应该相信自己的事业，相信自己的理想，深信他的思想是正确的，要勇敢地捍卫这种思想，努力工作，并且热爱他的工作。工作中的热情是胜利的重要条件之一。科学上的手艺匠是决不可能有任何重大发现的。

没有热情就不可能征服世界，而这种热情之所以产生，与其说是科学家受他自己创造力的驱使，不如说是他认识到他的重大责任，认识到他的创造性工作所起的作用。

要想努力改善人类的生活、热切希望战胜阻碍人类美好生活的黑暗势力，力求创造新的更好的世界，渴望发掘新的富源和完全掌握现有的富源——这就是新的自由的国家里的新型的人的生活目标。

也只有这样才能征服周围的世界。

达尔文在自传里说道："我作为一个科学家，一生的成绩不管多大多小，据我判断，是决定于我的复杂而多样的生活条件和我的性格的。没有疑问，我的性格最重要的是：爱好科学，考虑任

何问题都有无限的耐心，在观察和搜集事实的时候有坚持的精神，我又有足够的创造能力和正确合理的思想。”

这几点正是现在我们对于地球化学家的要求！这些性格不是很快就会在一个人身上形成的，它们是要经过顽强的努力才炼就的；它们不是一个人生下来就有的，而是在创造性的生活里养成的。

化学思想上多少伟大的胜利浮现在我们眼前，成千上万的实例告诉我们，科学的热忱是怎样战胜大自然的。

在门捷列夫元素周期表上的幻想旅行

“你看陈列什么东西才能显出俄罗斯科学上最了不起的成就呢？”——有一位苏联科学技术展览会的组织工作者这样问我，这个展览会再过几年就要在莫斯科揭幕了。

“从罗蒙诺索夫起到现在为止，凡是别的国家所没有的和可以表现苏联科学在逐渐发展的过程中的成就的一切材料都应该陈列出来！”

我们对于这个意见很感兴趣，和化学家和地质学家商量以后，就提出了上面的建议。这个建议的内容起初看着像是太庞大而且近于幻想，可是后来各方面都同意我们的意见，他们对这个意见都很感兴趣，而且和我们一起去做。

* * *

请想象一下，有一所铬钢造的圆锥形或角锥形的大建筑物，高 20～25 米，差不多和五六层楼房一样高。锥体外面围着一个巨大的螺旋。螺旋上是一个个的方格，方格和在门捷列夫表上的排法一样：横行是长的周期，竖行是族。每个方格像一间小屋子，占着一个元素。成千上万参观的人顺着螺旋往下走，观看每

一个方格里元素的命运，就像看动物园里的一个个猛兽似的。

你可以走进“元素大厦”，再从下往上升，一直升到这个门捷列夫周期表的大锥体的顶端。你的周围起初满是大理石，一个个红的舌头像在舐你的脚，然后是沸腾着的火热的熔化物逐渐在你的四周分散流开。

你坐在大升降机的玻璃屋子里。你的脚底下和周围都是地下深处熔化物的大海洋。这间玻璃屋子在火舌头和流动的熔化物当中慢慢地向上升起。

你的眼睛里出现从岩浆里最初结晶出来的固态物质。这些晶体还在岩浆里漂着，被大堆岩浆带走，逐渐聚集在某些地方，变成闪亮的东西，变成坚硬的岩石。

看，玻璃屋子的右面已经是地下岩浆冷却的部分了。你看见了地球内部的主要岩石，它是灰黑色的，而有些地方还热得发红，里面含镁和铁很多。含铬的铁矿石显出黑点，混在整片的铬矿石里，铬矿当中像星星似的闪着铂的晶体和含锇的铱的晶体——这是地底下最早生成的金属。

然后从玻璃屋子渐渐穿过暗绿色的大石块。这种大石块在历史上曾经被破坏过好几次，接着又重新熔成火红的、流动的熔化物。暗绿色的晶体中有另外一种透明的发光的晶体。这是金刚石的晶体，产在南非含金刚石的矿筒里的就是它。

你坐在玻璃屋里觉得往上升得越来越快。看看脚底下是暗绿色的铁和镁的岩石。现在出现了密集的灰色和褐色的岩石——闪长岩、正长岩、辉长岩；它们当中有些地方闪烁着白色的矿脉。突然玻璃屋子急遽地向右转，穿过充满气体、蒸汽和稀有金属的液态花岗岩，熔化的花岗岩里满是灼热的云雾。你很难在这堆混乱的花岗岩熔化物里看清楚有什么固态的晶体。哦，原来这里的温度已经高到800摄氏度!

一股股炽热的容易飞散的蒸汽汹涌地向上迸发出去。看，已经凝固了的花岗岩内部还有熔化的花岗岩。这是著名的伟晶花岗

岩，美丽的宝石的晶体就在这里面产生，还有黑晶、绿柱石、蓝色的黄玉，水晶和紫水晶的晶体也在这里长出来。

玻璃屋子从冷却的蒸汽的云雾里穿过去，掠过伟晶花岗岩空洞的奇妙的景色，这种空洞在乌拉尔山里特别叫做“伟晶岩晶洞”。这里有很大的烟晶，有 1 米多长的，它的旁边已经有长石结晶出来。长石晶体的表面上逐渐出现云母片，再往上又是发亮的烟晶。奇异的水晶像一束透明的标枪似的穿过晶洞。

玻璃屋子升得更高。淡紫色的鬃毛似的紫水晶从四处把屋子围住。屋子努力突破了伟晶花岗岩矿脉，于是有另一幅景色引起你的注意——矿脉一会儿在左方，一会儿在右方，出现粗细不同的分支：有的时候像很粗的树干，是白色的矿物和闪亮的硫化物；有的时候又像很细的小树枝，简直看不清楚。花岗岩里充满了褐色的锡石晶体和红黄色的重石。

玻璃屋里的电灯关上了。你的周围是一片漆黑。然后扳一下一架巨大机器的操纵杆，发出了看不见的紫外线，这时候黑暗的墙壁开始透出来新的火光：一会儿是重石晶体发出柔和的绿色光线，一会儿是方解石颗粒闪烁着黄色光线。各种矿物射出磷光和千变万化的色调，但是重金属的化合物依然是黑暗的斑点。

电灯又开了。玻璃屋子离开了花岗岩里不同矿脉的接触带，顺着大块花岗岩里一条粗的干线走上去。玻璃屋子走得慢起来，你确确实实是在顺着矿脉往上走。玻璃屋子开始穿过厚密的石英块。石英的内部贯穿着又黑又尖的钨矿石，再过几百米第一次看见硫化物闪出亮光来，这是黄色的硫化铁晶体。再往前是亮得耀眼的黄色亮光。

“看呀，金子!”——你们里面有一位喊了出来。细细的金矿矿脉穿满晶莹剔透的石英。玻璃屋子又上升了几百米。金子过去以后是钢灰色亮晶晶的方铅矿，然后是闪着金刚石光彩的闪锌矿，放出各种金属光泽的好多种硫化物矿，铅、银、钴、镍的矿。再往上矿脉变成了淡色。玻璃屋子通过柔软的方解石，方解

石里贯穿着银白色针状的辉锑矿，有的时候又是血红色的辰砂晶体。然后是砷的化合物，生成黄色和红色的大块。玻璃屋越往前越好走，热的熔化物一过去，接着先是热的蒸汽，然后是热的溶液。

现在是温热的矿泉溅着玻璃屋子。矿泉沸腾着冒出二氧化碳的气泡，气泡一直穿过构成地壳的沉积岩。这里你看见了二氧化碳怎样侵蚀石灰岩壁，让石灰岩里聚集起锌矿石和铅矿石。热的矿泉把玻璃屋子带得越来越高，四周直立着美丽的石灰质沉淀物：或者是褐色的文石生成的钟乳石——这种文石叫做卡斯巴石，或者是杂色好看的缟玛瑙，形状像大理石。

接着热的矿泉分开成几股，一些细小的支流穿到了地球表面上，生成间歇喷泉和温泉。玻璃屋子走过了厚层的沉积岩，穿过了煤层，走进了二叠纪里生成的盐类，你在这里看见的是远古时代地球表面的景色。看，沉重的液滴掉下来，玷污了你小屋子的玻璃壁。这是沉积岩的沙里的石油和各式各样的沥青。玻璃屋子穿过一个个的地层。

地下水又像雨点似的向玻璃屋子的外壁打来；屋子走过的路的两旁是很厚的砂岩壁，像把屋子嵌在里面；柔软的石灰岩和粘土质页岩发出各种颜色，在你的周围轮流出现，表明了地球过去的历史。玻璃屋子向着地球表面越走越近了，很快地上升，突破了地层，就停住不动了。

你的面前是鲜明的火焰，一团团白色的蒸汽变成雪白的云，遮蔽着整个天空，形状非常古怪。

你已经升到门捷列夫周期表的顶端了。你看见了元素氢在空气里燃烧成一股股的水蒸气。

* * *

你现在站在门捷列夫表的顶上。圆螺旋把你一步步带下去。你扶着铬钢制的栏杆，顺着门捷列夫表旅行起来。

这是第二格。方格上写着一个大字“氦”。氦是惰性气体，是

早先在太阳上发现的，渗透整个地球，充满在所有岩石、水和空气里。它是无孔不入的气体，我们收集它来填充飞艇。你在这间氦的小屋子里看到氦的全部历史：从太阳周围的日冕里的鲜绿色光谱线到难看的黑色钇铀矿——斯堪的纳维亚有这种矿脉，从这种矿脉里可以用唧筒抽出这种太阳上的气体——氦。

你小心探出身子从栏杆往下看，看见氦的方格底下还有5个方格。方格上分别亮着火红般的字，是另外5种惰性气体的名字：氖、氩、氪、氙和镭射气——氡。

突然所有惰性气体的光谱线都燃亮起来，各式各样的颜色都开始出现。氖气显出橘色和红色的光线，随后是氩气的蓝青色的光线。混在这幅景色里的还有别的比较重的惰性气体所发出的浅蓝色颤动着的长条光带。城市里的商店利用这种光做广告，这是我们很熟悉的。

电灯又亮了。你的面前是锂的方格。它是最轻的碱金属。你在那里看到了它的全部历史，一直到未来的飞机。你再弯身往下看，底下又亮着锂的伙伴的名字：黄色的是钠，紫色的是钾，发红的是铷，发蓝的是铯。

你就这样顺着螺旋一步步地慢慢绕下去，把门捷列夫周期表里的元素一个个看完，我们在这本旧书里讲过的元素应有尽有，但是这里每一种元素的历史不是用文字和插图来说明，而是做成生动的、真正的标本来表示它的全部历史过程。

还有什么能比生命和全世界的基础——碳——更出奇的方格呢！活物质的全部发展史在你的眼前映过，这里你还看见碳元素死亡的全部历史：埋在地底下的生命变成了煤，而活的原形质变成了液体的石油！在这幅由几十万种的碳化合物组成的复杂世界的奇异景象里，你的注意力特别集中在它的一头一尾上面。

看这颗巨大的金刚石晶体。这不是英国国王用的“非洲之星”，而是“奥尔洛夫”，它镶在俄国沙皇的金手杖上。

这间小屋子的最后是煤层。用风镐凿进去，一块块的煤就

由长长的输送带送到地面上来。这是列宁所说的“工业的食粮”。

现在你在螺旋上绕了两个大圈，一间屋子出现你的面前，颜色非常鲜艳：黄的、绿的、红的石块闪亮着虹的全部色彩。那是中非洲的矿坑，这是亚洲黑暗的山洞。电影片缓慢地转着，放映出一个个矿井的景色，显示出了金属起源的情况。看，这是钒，它的原文名称是纪念神话里古代斯拉夫(温德族)的一个女神的，因为钒有不可思议的力量，钢铁里添进了钒就坚硬耐久，有韧性，能够弯曲而不折断，这些都是汽车轴一定要具备的性质。你在同一间屋子里看见不同的两种轴：一种是钒钢造的，装在汽车上已经跑过几百万公里；另一种是普通的钢造的，汽车用它连 1 万公里还没有跑完就坏了。

你在螺旋上又兜了几个圈子。每间屋子各有自己的特色。这是铁，是整个地球和钢铁工业的基础；这是到处都有的碘，它的原子散布在所有空间里；这是锶，是制造红色烟火的原料；这是镓，是闪白色的金属，拿在手里就会熔化。

哦，金的屋子多么好看！它发出千万点火星。这是白色的石英矿脉里的金子；这是外贝加尔湖畔的金矿，它和银混杂着，颜色发绿；看这阿尔泰列宁诺哥尔斯克选矿工厂的小模型，淘金的水流在你眼前流过；这些是含金的溶液，闪烁着虹的全部色彩；这是金子在人类史和文化史上的作用。它是发财和犯罪的金属，是挑拨战争、抢劫掠夺的金属！辉煌的金光继续在你的眼前映过，这是国家银行地下室里的金块！这是著名的威特沃特尔斯兰德金矿里繁重的奴隶劳动的情况，这是操纵着股份公司的命运和金币的价格的银行老板。

紧往下的第二间屋子是另一种金属，是液态的汞。这间屋子布置得和 1938 年著名的巴黎博览会一样，屋子中心是喷泉，但是喷出的不是水而是银白色的汞。屋子的右角有一个小蒸汽机，活塞有节奏地动着，是用汞的蒸气开动的，左面展出了这个挥发性金属的全部历史，它分散在地壳里：顿巴斯砂岩里血红色的辰

砂颗粒，西班牙矿坑里液态的汞滴。

你再往下看。铅和铋过去以后，你看见一幅莫名其妙的图画。几种元素和方格混杂在一起。这里再也不像前几个方格那样清楚醒目。你是走进了门捷列夫周期表里一些特别的原子的范围。这些也是金属的原子，可是不像你所熟悉的金属那样稳定不变。你看着这幅景色很陌生，觉得有些模糊，可是忽然从暧昧里出现了奇幻的现象。

铀和钍的原子都不肯老老实实地呆着不动。它们放出射线，产生氦原子。于是铀原子和钍原子就先后离开了各自原住的方格。看，它们跳进了镭的方格，在那格子里放出明亮的神奇的光，像神话里说的那样变成了看不见的气体氡，以后你又眼看着它们在门捷列夫周期表里往回跑，最后固定在铅的方格里。

看，这一幅图画比前面一幅更加离奇——一些飞快的粒子向铀飞来，它们把铀劈成碎块，铀裂开的时候发出噼噼啪啪和轰隆轰隆的声音，发出灿烂的光，在螺旋上方稀土的方格里燃烧，然后又顺着螺旋下来，停留在和它无关的几个金属格里，最后在铂的附近慢慢熄灭。

这样一来，我们对于原子的概念是不是要有改变呢？我们的定律不都是肯定了，不是相信每一种原子都是不起变化的，都是自然界里死板板的砖块吗？不是说任何东西都不能让原子起变化吗？锶不是永远是锶，锌原子不也永远是锌原子吗？现在这些定律是不是违反了呢？

这下子你或许会觉得非常失望。仿佛我们前面讲过的一切都是靠不住的，原子还是不巩固的。原来你进入了某一个新的世界，这里的原子是不稳定的，它会崩坏，但是不是消灭掉，而是变成另一种原子。

你穿过门捷列夫表后半部的云雾，在乱飞的氦原子的闪烁火花和 X 射线中下到螺旋的最后一个台阶，走进谁都不知道的深处。

可是你现在下去的并不是地球的深处，而是在天空灼热发光的星体的内部深处。那个地方的温度高到摄氏多少亿度，那里的压力大得没有办法用我们地球上的大气压的数字来表示；那里门捷列夫周期表里的一切原子都在闪光和分裂。它们完全是在混沌的状态。

这么说来，我们以前说过的那些都是不可信的吗?炼金术士想从汞炼出金子，他们的想法倒是正确的吗?从砷和“哲人石”可以炼出银子来吗?科学幻想家早在100年前就说原子可以互相变来变去，说在我们达不到的复杂的世界里可以由一种原子产生另一种原子，他们的想法不也是正确的吗?

门捷列夫周期表决不是一张由方格拼成的死表。这张表不但代表今天的情况，同样也代表过去和未来的情况；这张表是说明宇宙里从一种原子到另一种原子的神秘变化的过程。这是原子世界里为存在而进行斗争的一幅图画。

门捷列夫周期表是叙述宇宙历史和宇宙生活的表!而原子本身是大宇宙里的一个小单位，它在门捷列夫表的复杂的周期、族和方格里永远在改变位置。

就是这样你看到了我们周围世界里的最奇妙的景象。

未来的成就

当代是物理学和化学蓬勃发展的时代，然而这只是越来越看得清楚的科学、工业和农业的高涨的第一步，将来，照我们的说法，科学和技术都要化学化。我相信就会到来化学的时代，那时候不但全部化学元素会顺从人们的意志，而且原子的全部力量都会被激发出来，潜藏在每一个分子、原子、原子核内部的巨大的能量都会被人利用。下面讲的虽然有点近于幻

想，可是今天的幻想常常会变成明天的技术。

于尔·维恩的幻想在我们今天看来还觉得津津有味，而他的有些幻想在今天已经变成了事实！苏联著名的科学家乔尔科夫斯基有过规模更大的幻想，虽然从他大胆的预言起到现在才不过30年，而他说过的话已经有许多实现了。所以我们不应该害怕科学的幻想，也不应该忽略已有的幻想；我们应该为实现这种幻想而奋斗，因为幻想是科学工作的方法之一。

怪不得列宁这样说："幻想是一种极有价值的东西。不要以为只有诗才需要幻想。就连数学里也需要幻想，如果没有幻想，连微积分也不会发明。"[1]

那么咱们也就来幻想一下，到了化学科学繁荣的时代，我们的技术会成什么样子。空气会被人征服，这不但因为飞机和火箭会升到极高的高空，高到50～100公里，不但因为飞机的速度差不多等于声音的速度，而且因为化学可以控制空气里的物质，让空气里的物质归人掌握。

分散在整个地球表面上的大工厂都会用巨大的抽气机把氮气从空气里抽出来，把氧气和氮气分开，液体的氧会像河似的在人工冷却的管子里流过，一直流到大规模的钢铁厂里，而鼓风炉里炼铁就会和实验室里蒸发水一样简单。

大工厂又会从空气里取得纯净的氮气，用大规模的电弧法把氮气变成硝酸。给植物带来生气的氮做成了肥料，大量地加到土壤里去，让我们田地的收获量提高1～2倍。这类空气工业的装置里有另一些管子流着液态的惰性气体——氖、氪、氙。它们顺着细小的管子流进制造电灯泡的工厂。

更新奇的是人们对于臭氧层的控制，臭氧层是在离地面几十公里高的地方受太阳紫外线的作用而形成的。

我们知道，这层臭氧包在地球外面像一层厚的布幕，它反射

---

[1]《列宁全集》，苏联党书籍出版社，1936年版，17卷，266页。——编者注

无线电波，它妨碍紫外线有利的作用。

于是产生了这样一个幻想：让氨的化合物带上电，像大柱子似的升到几百公里的上空，伸进那个臭氧层，那里的臭氧就分解，这样就替那从太阳来的强烈的紫外线电磁波打开了窗子，可以射到地面上。紫外线在有些地方会毁灭生命，而在另一些地方会给生命添加威力，把新的、强大的能量供给地球。

而人们征服地下深处的情况更加出奇。

我们脚底下沸腾着的大片岩浆，藏在地球中心的大量的热，——这一切都可以拿到手里来。

人会把 20 ～ 30 公里长的管子伸进热到 500 ～ 1000 摄氏度的地下深处；人会利用地球内部的热来建立许多取热站；人就不必再砍伐木材和燃烧煤，可以把煤留下来做化学工业的原料；人也不必用石油来取得高温。

管子把千百万卡的热从地下带到地面上来。这样巨大的热量不但能够烧热人的住宅和工厂，它从地下冒出来的热气还会把整个地区加热，会烧化两极地方的冰块，改变那里的气候。另一方面，沙漠里到处散布着大型的冷却装置,把沙漠变成繁茂的绿洲。

可是这还不够……对人来说，取热还不算什么，地面上到处有热可以供他使唤，人可以改正太阳的错误，人要紧的是取得地球内部深处的资源。

现在苏联根据门捷列夫天才的预言，已经开始了为掌握地下富源而斗争的新阶段。

在地下深处矿井达不到的地方把煤燃着，让燃烧的生成物顺着管子升到地面上供给工业使用。根本不用矿井，也不用煤矿里的钻眼工、采煤工、运煤工的繁重的劳动，只要有自动机和远距离操纵的装置，就可以通过复杂的、长长的道路来控制地下的煤，而不必再下到矿井里去。

人已经会让硫从很深的地层里涌出地面来。水蒸气在地下深处把硫熔化，液体的硫就流出地面，而如果让水蒸气热到 500 ～

600摄氏度再通进矿脉，通到聚集在一起的重的金属硫化物里，那时候银、铅、锌的硫化物也会像硫似的从不受侵蚀的材料制的管子里涌上来。

将来厚层的油页岩也会在地下深处燃烧，生成有用的气体通到地面上来；地下的盐类要先加热溶化成溶液，再抽到地面上来。人把强酸溶液通下去让天然矿物溶解，替电解工厂预备好现成的盐溶液。整个地壳会有千百万根钢管穿过，从不同的地层汲取需要的物质。

等化学研究出来怎样收集分散的铀原子，怎样利用铀原子里的能量的时候，人类对物质就取得一次更有决定意义的胜利。

现在物理学家告诉我们，全世界铀的能量的储藏量非常庞大。人已经会使铀原子进行分裂，进一步就要制造新的发动机，这种发动机可以丝毫不间断地开动几千年不出事故，它会变成神秘的能量的源泉来推动飞机和轮船前进。

在新式的化学装置里，全世界潜藏的能量都会发挥出来为人类服务。不能让太阳光白白地照在地面上，而要用巨大的镜子把它捕捉起来，把它变成热能。加利福尼亚和苏联都试验过用太阳的热做饭，将来大家都能使用这种办法。

白煤和蓝煤都会得到充分的利用，海岸上和河岸上到处要设立巨大的动力站来捕捉风力和水力。人要主宰这种庞大的能量，用这种能量可以做出奇迹来！

到那时候人还要战胜空间、距离和时间！……几千公里每小时的速度是普普通通的事情；城市和各地区相互间的距离会减缩到最短，不会再把人们分隔开。新的生活方式和新的社会改造的事业会取消地面上的一切界限。那时候科学创造的目的主要就是为了生活。人会用微妙的方法来分裂原子，利用放射线和巨大的回旋加速器的射线，对于原子要怎样就怎样：把原子分成碎块，把重的原子裂开成轻的原子，或者相反的把轻的原子合成重的原子。

人一方面会制造各式各样的原子，一方面又会利用它们。会把只存在一秒钟或一分钟的原子用在生物体里，用它造出新的药剂来消灭过滤性毒和有害的细菌。人控制住活细胞，用新的化学方法管理它。人又会利用微生物来让它参加大规模的化学反应。微生物研究所现在已经会在小瓶子里和胶质里培养不少种有用的细菌。

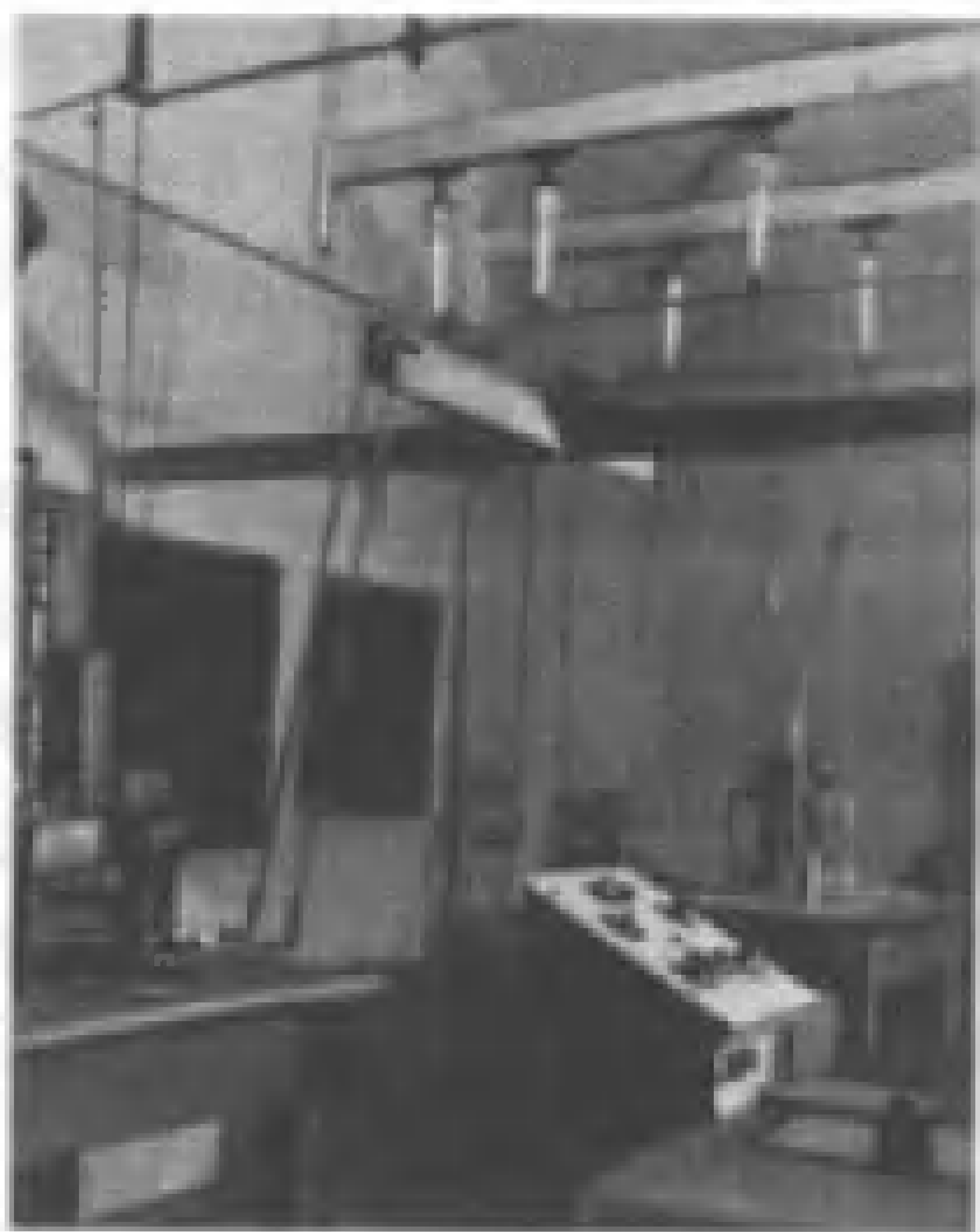
人类会大量地制造这类细菌来撒布在田野里。细菌会在土壤里制造肥料——硝酸，又会分解石膏而提出硫来。细菌会变成人类生活的助手，变成化学上强大的动力，人要利用细菌来提取分散在海水里的金属，就和小小的棘针放射虫从海水溶液里摄取和聚集锶一样。

人类为地下的富源而斗争，要把开出来的矿石全部用上。不能有一滴一点的废物，不能有用不上的废石！一切都要用到工业上去，不能让门捷列夫周期表里有一个元素空着不用，而地球上分布最广的元素——硅和铝更要变成生活的基础。

所谓“特别稀有的”物质，这个名称要失去它的意义。因为这类物质也要参加我们的日常生活。它们要用在电视机的荧光屏上，我们坐在屋子里，面对着荧光屏上看到的遥远地方的听众，就可以和他们谈话。有了稀有金属制造的电视机，就不必要老式的无线电收音机了。一切稀有元素都会参加化学反应，结果会在很大的化学工厂里把好多种物质变成生活必需品。

有机化学的意义特别重大。一等到人们会用新式的装置来得到接近绝对零度的低温和摄氏千百万度的高温，以及几十万大气压那样大的压力，有机化合物就会不止几十万种，而是还会制出几百万种来。

这就会是新的有机化学。这就会不但有可以制造随便什么东西——从纽扣到轻的飞机的塑胶，不但有可以很好地代替天然橡胶的人造橡胶，不但有可以代替蓝靛的优良的染料——不但这些，而且会有完全新型的物质，近乎真正的有机体分子，近乎原



X 射线实验室

形质和蛋白质……那时候会有人造的食物，人就不一定需要动物体里的复杂的化学实验室替他来准备食物了。

未来的合成化学还要使用别的元素来制造现代有机化学用碳、氧、氢制造的那类复杂的化合物。近年来，化学家不用碳或氢而用地球上另外两种元素——氮和硼——来构成苯环，合成出奇的化合物，这种方法已经成功，照我的想法，用硅、锗、硼、氮 4 种元素来造新的分子，也是完全可能的。

但是要让化学征服世界，就得进行大规模的科学研究工作；应该多多设立科学研究所，要有完善的设备，要有高压和高温的装置，而且要和工厂实验室结合起来。

在新的科学宫里，胜利属于新型的勇敢的人，他们有大胆的科学幻想，心里燃烧着探求新事物的热情。

这些是我根据今天的科学成就来展望未来的远景。这种远景只不过从我们周围自然界的现状出发，从我们现有的知识出发。更远的未来的远景还要比这些宏伟。但是，那时候是什么样的情形，我们现在还一点也说不出来，一点也不能想象……

为了人类的幸福——这就是我们努力探求新事物的目标。新的生活只有战胜了自然界和克服了人类本身的保守性才能建立起来。

人类在这条道路上还要经过艰难困苦、坚韧不拔的斗争。但是走向未来的路标已经竖立起来了，任务也已经确定下来



列宁山上的国立莫斯科大学

了。征服自然界，控制自然力，争取把一切没有用的变成有用的，这就是建立新生活的一些重要的关键。

结尾

这是这本书的结尾。我们自己也要变成移动着的小小原子，才能走上元素旅行的复杂的道路，才能钻到地下深处甚至火热的天体里看看各种原子在宇宙里和在人的手里究竟怎样动作，看看它们在工业上和国民经济上在做些什么。

所有原子都在经历着漫长的历史道路，我们不知道这条道路从什么地方开始，到什么地方完结。原子产生的过程怎样，它们怎样才开始在地球上旅行，我们还不十分清楚。在地球的复杂的未来的岁月里原子的命运怎样，我们也不敢说。

我们只知道，有些原子从地球上飞开，分散在星际空间

里，那里每1立方米的空间还占不到一个微乎其微的原子，而那里全部原子加起来才占宇宙空间的$1/10^{31}$。

我们知道，又有一些原子分散在地壳内部，分散在土壤里，分散在海洋和别的地方的水里；另外还有一部分原子受万有引力的规律支配，它们慢慢地回到地下深处。

拿性质来说，有一类原子是经常不变的，它们和用洁白的骨头造的弹子[1]一样结实；第二类原子相反，像皮球似的富有弹性，它们彼此一冲撞就受到压缩，同时交叉起来变成复杂的结构，这种结构的外围还造成电场；第三类原子自己会彻底破坏，连核都分裂，同时放出能量，它们的本身变成奇奇怪怪的气体，这些气体的寿命已经根据蜕变规律作了精密的测定，有的活到几百万年，有的活几年，有的却只活几秒以至几万分之一秒。

构成我们周围世界的元素差不多有100种，可是这些原子的形状和特性相差多远，它们互相配搭形成的结构又多么不一样!

我们现在还只是刚刚开始用新的眼光来读地球上化学元素的奇妙的历史。地球化学给自然界揭露出来的新面貌还很有限，对于地壳上每一种元素的动态进行观测、进行顽强的研究工作才开始不久，然而我们的任务却早已规定：作出每一种原子动态的报告，追究每一种原子的特点，研究清楚它有什么优点和缺点，一句话，详细地和深入地认识每一种原子，以便由零星的事实编成完整的原子史和宇宙史。

这种历史上的每一个环节是由到现在还摸不着底的原子的性质来决定的，原子在整个宇宙里的命运也罢，在地球上和掌握在人手里的命运也罢，都要由复杂的、意义深刻的规律来支配。

但是我们之所以要认识原子，要知道它们在地球上的动态，不应该单单是为了好奇，——不，我们还应该懂得怎样去支配它们才能适合我们工业、农业和文化上发展的需要。

---

[1] 弹子，在我国北方叫台球。——译者注

恩格斯说：我们必须研究自然，才能改造自然。这就是地球化学家的光荣而伟大的任务。

是的，我们应该彻底掌握原子，要能够用原子制造出随便什么东西来。例如，我们要造出比金刚石还硬的合金，要做到这一点，就得明白原子在它们复杂的结构里是怎样排列的。

我们应该懂得金属化合物的性质，对于它们的性质不应该光是知道一个大概，而是要确切知道。

我们应该尽可能多开采和提炼像铯和铊这一类很容易失掉外层电子的原子。我们要用这类原子来制造非常精巧灵敏的电视机，可以随身带在口袋里或笔记簿里，还可以用这类原子制造特别精致的有声电影机，它的尺寸不比普通的书本大。

总而言之，我们要求征服原子，要求原子服从人的意志，服从有创造性的和能够把自然界一切凶恶有害的力量变成有用的力量的人的意志。我们希望整个自然界和全部门捷列夫周期表都服从苦心研究的人的指挥。

这就是我们地球化学工作的思想和任务，这就是为什么我们要了解和控制原子的道理。

我们就拿这几句话来做我们这个长篇故事的结尾吧！

可是，朋友们，难道科学和学问也会有结尾吗？关于这一点我要坦白地告诉你们。

这本书讲到这里是快完了，其实讲过的一切还只是我们这门知识的开端，即使你把这本书再多读几遍，仔细留意书里的每一幅图画，想一想某几种元素的动态，我们还是不得不承认：我们确实还只是刚刚开头。

要想在我们周围的自然界里探出一点什么秘密，我们还要好好多读多想和多多工作。

我只能简单地开几本书让你们读读，你们读完我这本书以后再去读读那些书，对你们是有帮助的，你们也一定会感兴趣的。

通俗和趣味的作品

安得列耶夫(В. Г. Андреев)　著:《化学趣谈》, 1937 年版。

巴拉班诺夫(В. Варабанов)　著:《怎样搜集矿物和岩石》, 1953 年国立儿童书籍出版社出版。

布勃列尼科夫(Ф. Д. Вублейников)　著:《地球是怎样构造的》, 1949 年国立地质书籍出版社出版, 218 页。

伏龙卓夫·维略明诺夫(В. А. Воронцов-Веньяминов)　著:《宇宙》, 1951 年国立技术理论书籍出版社出版。

格克尔(Р. Ф. Геккер)等　著:《直观教材画册》,《地球上生命发展史》(图表册), 1947 年莫斯科国立文化教育出版社出版。

泽利科维奇(Э. С. Зеликович)　著:《光和色》, 1950 年国立文化教育出版社出版, 120 页。

泽科夫(Д. Д. Зылков)　著:《煤炭和化学》, 科学普及丛书, 1940 年苏联科学院出版社出版, 219 页。

伊林(М. Я. Ильнн)　著:《原子世界旅行记》[1], 1948 年国立儿童书籍出版社出版, 61 页。

基戴戈罗茨基(А. И. Китайгородский)　著:《玻璃和结晶陶瓷》, 1953 年 "知识" 杂志出版社出版, 24 页。

克里诺夫　著:《天上的石头(陨石)》, 1950 年苏联科学院出版社出版。

库兹涅佐夫(С. С. Кузнецов)　著:《在山地和平原上》,《苏联地质讲话》, 1947 年列宁格勒出版社出版, 276 页。

莫罗佐夫(А. Н. Мороцов)　著:《米哈伊尔·华西里也维奇·罗蒙诺索夫(1711 ~ 1765)》, 1953 年 "青年近卫军" 出版

[1]《原子世界旅行记》有王汝译本, 中国青年出版社出版。——译者注

社出版，960 页(名人传记丛书)。

麦德维多夫斯基(В. Медведовский) 著:《氧》，1953 年莫斯科国立儿童书籍出版社出版，123 页。

依·尼查也夫(И. Нечаев) 著:《元素的故事》,1944 年国立儿童书籍出版社出版，144 页。

奥勃鲁契夫 著:《地质学原理》，1944 年莫斯科、列宁格勒国立地质书籍出版社出版，460 页，302 图(通俗版)。

奥勃鲁契夫 著:《山脉和大陆的起源》，1951 年国立技术理论书籍出版社，第三版，39 页。

别莱利曼(Я. И. Перелщмай) 著:《趣味天文学》，1952 年国立技术理论书籍出版社，第六版。

皮萨尔热夫斯基(О. П. Писаржевский) 著:《德米特里·依凡诺维奇·门捷列夫(1834—1907)》，1951 年"青年近卫军"出版社，第二版，464 页(名人传记丛书)。

波拉克(И. Ф. Полак) 著:《通俗天文学》，1944 年莫斯科、列宁格勒国立技术理论书籍出版社出版，280 页。

拉祖莫夫斯基 著:《怎样识别矿物》，1953 年莫斯科、列宁格勒国立儿童书籍出版社出版，60 页。

留明(В. В. Рюмин) 著:《趣味的化学》，1936 年"青年近卫军"出版社，第七版，117 页。

斯吉柏诺夫(В. И. Степанов) 著:《伟大定律的历史》[1]，1952 年"青年近卫军"出版社出版。

齐托夫(А. Р. Титов) 著:《用作肥料的矿物质(农业上应用的矿物和岩石讲话)》，1940 年莫斯科国立农业书籍出版社出版，111 页。

阿·费尔斯曼 著:《俄罗斯石器文化史断片》，1946 年苏联科学院出版社出版，175 页。

---

[1]《伟大定律的历史》有曹毅风译本，叫做《人类认识物质的历史》，中国青年出版社出版。——译者注

阿·费尔斯曼　著:《乌拉尔——苏联的宝库》，1942年苏联总工会出版社出版，59页。

阿·费尔斯曼　著:《我的旅行》，1949年“青年近卫军”出版社出版，148页。

阿·费尔斯曼　著:《岩石回忆录》，1953年“青年近卫军”出版社出版，192页。

阿·费尔斯曼　著:《宝石的故事》，1952年国立儿童书籍出版社出版，210页。

阿·费尔斯曼　著:《趣味矿物学》，1953年国立儿童书籍出版社出版，271页。

霍达科夫(Ю. В. Ходаков)　著:《氢》，1937年科学技术出版社出版，92页。

沙斯科尔斯芙卡娅(М. ШасколвсЕая)　著:《晶体》，1944年国立儿童书籍出版社出版，168页。

谢尔巴科夫　著:《矿石是怎样生成的》，1953年“知识”杂志出版社出版，48页。

比较专门的著作

阿普罗多夫(В. А. Апродов)　著:《地质制图》，1952年国立地质书籍出版社出版。

伯尔格(Г. Bepr)　著:《有用矿物矿床的地球化学》，1937年科学技术出版社第二版，译自德文。

瓦尔萨诺费耶娃(В. А. Варсанофвева)　著:《地球的起源和构造》，1945年国立地质书籍出版社出版。《山脉的生活》，1948年莫斯科自然研究者学会出版社出版。《乌拉尔山和它的地下宝藏的起源》，1934年莫斯科“苏联亚洲部分”出版社出版，295页。

瓦维洛夫(С. И. Вавилов)　著:《眼睛和太阳》，1950年莫斯科、列宁格勒苏联科学院出版社第五版，86页。

维尔纳茨基 著:《地壳矿物史》，卷1，卷2，1923～1936年彼得格勒、列宁格勒化学理论出版社出版。

维尔纳茨基 著:《地球化学概论》，1934年苏联科学院出版社，第四版。

奥勃鲁契夫 著:《山脉和矿床的形成》，1942年莫斯科、列宁格勒苏联科学院出版社，增订第二版，199页，29图。

奥勃鲁契夫 著:《野外地质学》，卷1，卷2，1932年莫斯科、列宁格勒国立矿冶科技书籍出版社，修订第四版。

萨乌科夫(А. А. Сауков) 著:《地球化学》，1950年国立地质书籍出版社出版，347页。

阿·费尔斯曼 著:《选集》，卷2，1953年莫斯科苏联科学院出版社出版，768页。

阿·费尔斯曼 著:《地球化学》，卷1，卷2，卷3，卷4，1933～1939年列宁格勒国立化学科技书籍出版社出版。

阿·费尔斯曼 著:《矿物的颜色》，1937年苏联科学院出版社出版，157页。

沙弗兰诺夫斯基(И. И. Шафрановский) 著:《金刚石》，1953年苏联科学院出版社出版。

舒布尼科夫(А. В. Шубников) 著:《晶体的形成》，1947年苏联科学院出版社出版，74页。

谢尔宾纳 著:《地球化学》，1939年莫斯科、列宁格勒苏联科学院出版社出版，336页。

施密特(О. Ю. Шмидт) 著:《地球起源学说四讲》[1]，1950年莫斯科、列宁格勒苏联科学院出版社，增订第二版。

这里开列的并不是你应该读的全部书目，你要懂得地球化学，除这些以外还该读不少的书。但是我们知道，读书不难，难的是找不到书，不知道什么图书馆有这类书，不知道哪个朋友有

---

[1]《地球起源学说四讲》有诸国桢译本，中国科学院出版。——编者注



苏联科学院矿物博物馆

这类书可以借来读读。

读到书往往不是一件容易的事情，如果住在偏僻的地方，离开科学和文化的中心比较远，想读的书更难到手。那么你怎么办呢?这类书出版得少，一时不可能到处都有，就得下决心努力去找，这样做才有可能达到目的[1]。

然后该做什么呢?第一，应该学好几门基本的科学——化学、物理学、矿物学和地质学。千万不要跳过这一步，而为了做一个优秀的本国天然富源的研究家，还得把这4门科学翻来复去地读，要多多思考，要领会化学和矿物学的基本原理。

读书一定要专心，要深入了解每一种元素的命运，研究它在

---

[1] 这里是对苏联的读者说的，这些书有中译本的不多，对我们中国读者来说，困难自然更多，但是我们也可以找一些别的有关的书来读。——译者注



荣获列宁勋章的列宁格勒矿冶学院

土壤里、水里、空气里、工业上和农业上的动态，而且读的时候要把门捷列夫表当做指路的明灯。仔细看看本书所附的门捷列夫周期表，最好自己用一张大一些的纸照样画一张，在每一格里填上元素的化学符号、原子量，下面注上它在地壳里所占的成分多少，把这张表挂在你的房间里，以便随时查看。

门捷列夫周期律给我们的知识是非常广博的。

它所表示的各种原子间的关系不但表现在周期表里，而且也表现于自然界本身。

* * *

但是，这决不是说，我们的化学知识和地球化学知识的来源完全仰仗一些书本和图表。博物馆也会启发我们对于化学问题的新的思想，博物馆里关于矿物学和地球化学的陈列品会给我们很多的知识，那里的标本常常是按照元素的种类来分别陈列的；所以谁要是对于矿物、金属、盐类以及这些物质的地球化学史发生兴趣，我们就诚恳地劝他多多参观下面一些博物馆：

1. 苏联科学院矿物博物馆，在莫斯科大卡卢加大街 14 号。

这个博物馆已经成立了220年，它搜集的苏联矿物标本最多，里面特别设有地球化学陈列室。

2. 莫斯科奥尔忠尼启则地质勘探学院博物馆(旧莫斯科大学)，在莫斯科莫霍夫大街11号。

3. 矿冶学院博物馆，在列宁格勒瓦西列夫岛21号路第二号。这里搜集的矿物标本非常齐全,特别设有结晶化学陈列室。

4. 车尔尼雪夫(Ф. Н. Чернышев) 地质勘探博物馆，在列宁格勒瓦西列夫岛中央大街乙72号。

5. 国立大学矿物学-地球化学陈列室，在列宁格勒瓦西列夫岛大学河岸街7/9号。

6. 矿冶学院博物馆，在斯维尔德洛夫斯克西伯利亚大街65号。这个博物馆是在1937年，在国际地质会议开幕以前成立的,它非常生动地显示了乌拉尔在地球化学和矿物学上的全貌。

别的许多城市也都有博物馆，高等学校和高等技术学校也常有附设博物馆的。

在基辅，乌克兰科学院的博物馆很好；第比利斯有格鲁吉亚大学的博物馆；基洛夫斯克(在希宾苔原)的技术宫也有很好



列宁格勒车尔尼雪夫地质勘探博物馆的矿产陈列室



列宁格勒车尔尼雪夫地质勘探博物馆的外观

的博物馆。

不论参观什么地方的博物馆都能获益匪浅，每一处的博物馆都陈列着该地区有价值的矿物。

*　　　*　　　*

大规模的冶金工厂和化学工厂也能给我们许多化学、矿物学和地质学的知识。

谁要是参观过马格尼托哥尔斯克钢铁联合企业，他一辈子也忘不了，怎样处理铁矿石，铁矿石在鼓风炉里和专门的车间里加工以后怎样从不同元素的复杂化合物里先产生含碳很多的铁，然后制成真正的钢。我们到了索里卡姆斯克，就能知道钾和镁在化学和地球化学上的命运。我们到过列宁格勒的过磷酸石灰工厂，到过莫斯科近郊伏斯克列森工厂，到过乌克兰、乌拉尔等等地方，就能看到怎样用硫酸来处理磷灰石和纤核磷灰石、制造成磷肥供应农业生产。


冶金工厂

我们到齐略宾斯克的铁合金制造工厂，往喷火的熔炉里看看，就懂得地下深处熔化的岩浆是怎样产生的，怎样又从岩浆里结晶出各种物质来。

总之，每个大工厂的加工过程都是原子史上的一页：不同的金属原子在复杂的过程里进行混合，从混合物里提出各种物质来，再让这些物质按照新的方式又跟别的原子配搭起来，这样来制得合金钢、过磷酸石灰、钾盐、锰盐、钒盐、锆盐等。

化学越来越广泛而深入地应用到工业上。我们已经不只是把石头凿成方块来铺路，或者把石头做成箭头一类的东西，我们现在要想办法把石头进行化学的处理，把各种物质配搭起来，以便得到最宝贵的性质。

我们要制备一些好的石块来铺成新的更好的路，要用坚硬的钢制成炮弹头，要改变自然界里天然的变化过程，要把天然的物质变成新的有价值的物质。

我们现在不但生活在化学变化的时代，而且是在国家有计划地发展化学知识和化学工业的时期。

我们四周到处都在进行着化学变化，我们对于每一种化学变化都要仔细观察和好好研究。

*　　　*　　　*

自然界本身，金属、盐类和各种矿石的矿床，都在对我们讲述地球化学的知识和矿物学的新思想。青年研究家如果不到自然界本身去学化学变化的规律，那他在别的任何地方也学不好的；

所以我们号召大家不分春夏秋冬都要勇敢地跑到外面去研究地球的化学变化。

早春出发到莫斯科的近郊，仔细看看侏罗纪沉积的黑色粘土层，你就会看见已经褪成浅绿色的硫酸盐类怎样掩盖着黄铁矿的金黄色光泽。你在“磁石”的矿山上会看到铁矿石变化和生成的经过，那里在古代某一个时候地面上生成了磁铁矿，后来这些磁铁矿逐渐变成褐色的绿高岭石，以后表面又盖上了红褐色的氧化铁铁锈。

随便你在什么地方——在矿坑里和采石场里，在山顶上和山谷底的河岸上你都能看出物质的变化，一种矿物怎样变成另一种，然后又变成第三种。只要留意观察，谁都能很快地看出来一切都在变化：有的时候变得很慢，很平静，有的时候变得很突然，可是无论如何不出自然界的伟大规律的支配。古代希腊哲学家说:“一切都在流动。”现代的地球化学家说:“一切都在变化。”

我们就用这句话来结束本书。现在我们提出几点简短的、可是有用的劝告给我们的青年读者：



地球化学家在研究岩石的露头——凝固了的熔岩流

1. 多读关于矿物学、化学、物理学和矿产的书。不要忘记门捷列夫周期表，要仔细研究它。

2. 参观有关矿物学、地球化学、有关工业的和各地区的博物馆。

3. 参观工厂，懂得生产知识，深入了解生产过程当中的化学变化。

4. 夏天到矿山、矿坑和采石场去，观察大自然，大自然是地球上规模最大的实验室。

5. 好好思考怎样利用自己祖国的天然富源，努力寻找聚集在地下的矿藏。

如果你在工作中对于某一点不清楚，觉得困难，有的时候根本不懂，甚至可能感觉枯燥无味，你可千万不要灰心，而要勇敢前进去探索科学上的秘密，不屈不挠地深入钻研你所研究的现象，要相信自己的精力，要认识到自己祖国有无穷尽的宝藏，祖国人民有无穷尽的创造力，相信祖国的前途是无限美好的。



附　录

地球化学家的野外工作

引言

这一章包括两个部分。第一部分是对勘探矿产和在某个地区进行地球化学研究的地球化学家贡献一些切合实际的意见。第二部分是简单地叙述地球化学研究工作的主要方法，叙述的顺序也就是地球化学家在进行野外工作的时候所应该遵守的顺序。

第一部分也罢，第二部分也罢，都是依据最近研究家已经很好掌握的原理来叙述的。总的说来，科学的野外工作包括这样 3 个部分：准备阶段、研究工作本身、样品的装运和整理。

毫无疑问，这 3 个部分同样重要，每一个部分都要注意，都要考虑周密。

有一位科学旅行家说过这样的话：“谁要是知道得多，想得



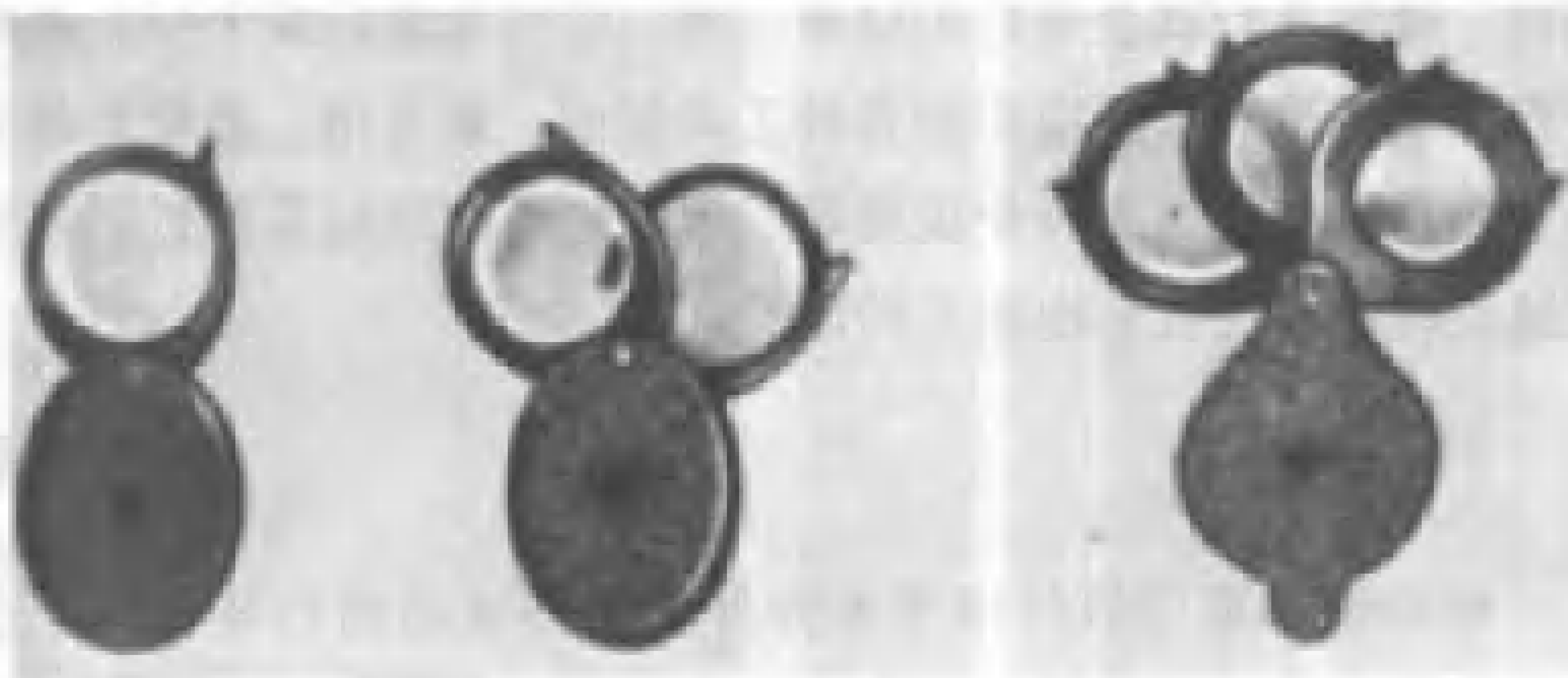
地质学家在卡拉-库姆沙漠边界上搭的帐篷

周到，他的旅行就会有好的结果”。另一位科学旅行家十分正确地补充说：在研究家所应有的各种工具里面，最有用、最重要的工具是他自己的眼睛，即使极细微的现象也不应该轻易放过，因为从这些现象往往会引出重大的结论。

装备品

地球化学家应该仔细考虑野外工作需要用到的装备品，这是一个十分重要的问题，因为地球化学家不但需要一般地质考察的用品，他还需要另外一些仪器来进行物理研究和化学研究。他在考虑装备品的时候首先要估计到，在他进行工作的这个地区里怎样携带和运送这些装备品，因此，一定要特别认真地分析装备品本身的质量和大小，并且把分析的结果列在勘探计划中。勘探的装备不够好，这固然是一个危险，而装备品过多也往往是一个很大的缺点，因为这样一来，在勘探过程当中就很难搬迁，造成迁移时动作迟缓，甚至使得勘探人员不可能去到某些难以到达的地区。

在研究家常用的装备品里面，最要紧的是各式各样的小槌子。敲打沉积岩和柔软的岩石的槌子，应该既有槌子的性能，又有轻便的镐的性能；这种槌子的柄应该长 40 厘米左右，而且安在槌子头上的应该是柄的粗的一端，握在手里的应该是细的一端，免得槌子头在敲打岩石时脱落。如果在岩石坚硬的地区里进行勘探，所用的槌子就要比较重些(1 ～ 2 千克)，柄要长 70 厘米左右。槌柄上应该刻好厘米的尺度，以便随时进行精密的测量。此外，在进行大型的勘探时，不但要有重到 5 千克的笨重的大槌子，而且要有轻巧的短柄小槌子，这种小槌子的柄长 20 ～ 30 厘米。用来打碎小石块，或者把样品打成某种一定的形状。除了槌子以外，还要预备一套不同形状和不同大小的凿子。别的需要用到的装备品还有：放大镜(放大的倍数不超过 8 倍)、矿山罗盘仪、卷尺、小刀、笔记簿和铅笔、6 厘米 × 4 厘米大小的特



不同倍数的矿物放大镜

制的而且标好了号码的标签、大量的包装用纸，几个小玻璃瓶用来装贵重及娇嫩的样品和晶体；坚固结实的不同大小的盒子；还要预备一套帆布做的小口袋，每一个口袋的外面要记上号码，用来装散粒的和土状的样品，这也是很重要的。

除了上面讲的那些装备品以外，还要有一个轻巧的照相机，一个无液气压计和一套颜色铅笔，这套铅笔是画地质图和地球化学图用的。

最好随身带一些小玻璃瓶，里面装着不同浓度的各种酸溶



帕米尔东部，良加尔河上游

液，还要带一些好的木炭、一根白金丝、一点碱和硼砂，这些物质都是随时要用的。如果勘探工作是长期的，那么除了这些基本的装备以外，还应该添一些专门的仪器和器具。

怎样包装和安放各种装备品，这是一个极其重要的问题。一部分装备品应该装在结实的、不透水的袋子里，这种袋子要背着方便(背囊)；另一部分装备品要装箱，这种箱子要求在进行勘探的那个地区运送起来方便，这一点应该极其重视和周密考虑，以免发生严重的错误和造成运输上的困难[1]。

收集到的样品的包装

收集到的矿物应该怎样包装和运送，这个问题非常重要，是需要十分注意的。

把收集到的样品分别用纸包好，贴上标签，然后装箱或装袋，这件工作要做得仔细，因为这是使样品保持良好状态的最必要的条件。一定要遵守这样的规则：不管样品多少，也不要把几种样品包在同一张纸里，而一定要每一种包成一包。由于包装不小心而损坏了很好的样品，特别是柔软的矿物样品，这种情形已经发生过多少次啊！因此，包的时候一定要把娇嫩的和柔软的样品跟坚硬的样品分开来装。每一种样品都要用二三张纸来包，但是无论如何不要先把这些纸叠在一起成层地包，而应该一张张地包。每一种样品上叠成双重的标签，不要直接贴在矿块上，而要包了一层纸再贴；这时候还应该注意，在标签上写字要用普通铅笔，而决不能用复写铅笔。脆的和娇嫩的晶体，应该用薄的卷烟纸和棉花裹好以后才可以包在大张的纸里。

包装在勘探过程当中收集到的样品，要分成几个步骤，这一点是特别要注意的。第一步是每一天都把当天收集到的样品

---

[1] 关于装备品的详细的而又非常有益的记述，可以参看奥勃鲁契夫著的《野外地质学》，卷1，1～304页，特别是9～55页，1932年国立矿冶科技书籍出版社出版。——编者注



塔什干附近安格达河陡峭的石岸，这个河岸是由黄土堆成的

包装起来送到帐篷里去。这种方法是我50年来在收集矿物的过程中研究出来的。在收集地球化学和矿物学的样品的时候，把各组找到的样品送到同一个地方(靠近休息的地点)去，送去的样品分量应该比实际需要的多得多。然后，在一天的勘探工作结束以后(晚上)，把所有收集到的样品整理和分类，要把最好的、典型的样品挑出来，并且暂时小心地装在背囊里面。在经常搭着的帐篷里，应该把样品放在干燥可靠的地方，等勘探工作告一个段落的时候，把所有样品重新审查一遍，重新用纸包好，以便进一步装到坚固结实的箱子里去，每一箱装好样品以后的总质量不应该超过50千克。一般不用大箱子，因为箱子一大，装在里面的石块互相摩擦得很厉害，而且在运输和装卸的时候，十分沉重的箱子很容易损坏。样品装箱以后一定要紧跟着勘探队走。把样品留下来委托当地的某个居民照管和发送，往往会产生严重的后果，或者是研究人员收到这些样品的时间很晚，或者是根本收不到。

研究人员把装着样品的箱子拿到手以后，应该细心地整理

样品，而且一定要把贴着标签的所有样品分放到适当的盒子里去，因为箱子里的标签很多很乱，可能招致无可弥补的损失，还往往会因而得到不正确的和危险的结论。

样品应该收集什么样子的和多大的呢？这是在收集样品的时候经常发生的第一个问题。应该说，回答这个问题相当困难，只有凭借长期的经验和丰富的自然知识才能收集到好的矿物样品。毫无疑问，研究人员至少要有一点艺术上的嗅觉，这样他收集到的某种样品在形状上和颜色上才会正好突出这种矿物。所以有些矿物的样品不能限定形状，但是也有些矿物的样品，却最好有一定的形状和大小，大约是 9 厘米 ×12 厘米或 6 厘米 ×9 厘米。

地球化学普查工作中的样品的收集

地球化学的普查工作，以及地球化学的研究方法本身，都要求有专门收集的样品。地球化学家把样品收集来了以后，接着就要把这些样品从矿物学上、化学上、光谱分析上和 X 射线分析上分别进行专门的研究，因此，这些样品的收集是一个极其重大的任务，地球化学的分析能不能成功，在极大的程度上就要看收集的样品的品质，以及在收集的时候是不是经过周密的考虑。

那么收集工作有哪些要求呢？

1. 首先应该收集到足够多的样品，不但用来进行光学的研究，而且要用来做化学分析，而在进行全面的化学分析以前，有时候还要精



帕米尔高山上的蓬列兹湖，是在一次巨大的山崩以后形成的(塔吉克共和国)


帕米尔高原上穆尔加布河的发源地附近

选一遍，也就是把混杂着的、不相干的矿物剔除出去。因此，一定要收集几十千克最有代表性的岩石和混合在一起的矿物。

2. 为了进行矿物学的研究，要收集各种矿物样品。这可供研究清楚矿物形成的先后次序，也可使有足够的量供选取最重要矿物的好的和纯净的分析样品。

3. 收集的样品不但为了供实验室研究用，也为了供博物馆做标本用。标本的收藏是一个重要的问题，因为标本不但可以用来做实物说明，而且大一些的标本还可以用来跟别的矿床里产的同种矿物的标本进行比较。

比较分析法是自然科学家的研究方法之一。地球化学家在做研究工作的时候不应该犯旧的矿物学学派犯过的错误，只要他发现某种矿物里意外地含有某种化学元素，不管含量多么少，也应该十分重视；遇到漂亮的矿石上生着很好的晶体，自然就会把这种矿石细心地收集起来，现在如果他发现某种矿物上生成了硬壳——风化的生成物，即使这层壳薄得实在算不了什么，也得同样细心地收集起来。

总之，样品要收集得越多越好，这是一个指导性的规则，是一切研究人员都应该遵守的。在某个地区进行勘查的时候，一定要把这个地区所有的矿物和化学元素都收集齐全，也就是收集一套完整的标本，假如收集到的样品过多，宁可事后把多余的扔掉，这样还是比收集得不齐全好些。

收集样品的时候千万不要存着这样的想法来安慰自己：将来还会回到这个地方来，那时候还可以收集一些新的样品做补充。这种指望不是总能实现的，结果，收集到的样品就往往不齐全，不成整套，也就没有什么价值了。

观察记录

野外工作的观察记录问题，是一个十分重要的问题。有一位科学家说得十分正确，旅行家和研究人员应该用绳子缚着一支铅笔来套在脖子上，因为铅笔拿起来越方便，手也就记得越勤。记录有两种：第一种是记在标签上的记录，每一种样品贴好标签以后，标签上不但要写明这种样品的收集地点和日期，而且要记一些收集这种样品的条件。样品的收集地点记得越确切，以后利用起来也就越方便。

但是主要的记录应该记在野外笔记簿里，研究人员应该随时想到，一定要把这个记录记得完美无缺。许多研究工作的成绩怎样，就看野外记录簿里的记录详细和完整程度，以及思考的周密程度。观察记录先应该在勘查工作现场记下来，记录的内容应该包括在这个现场所做的全部观察，以及在观察过程当中产生的种种想法。一天的勘查工作结束以后，应该把当天记下来的材料概括地整理一下，还应该写日记，把一天做过的事情都记在里面。凡是勘查过的地方以及收集过样品的地方，都要随手在笔记簿里分别画出简图来，这也是十分重要的。

笔记簿里的记录做得完全而又精确，这是野外工作好坏的标志；野外研究人员的严重错误之一，是信赖自己的记忆力。他们只凭事后的回忆来把想到的事情补记在野外笔记簿里或者标签上面，这是一个十分危险的做法，往往使得收集的样品丧失价值，还会得到不正确的结论。

应该着重指出，在野外笔记簿里做好记录，是一件相当困难的事情。通常这个记录只能在晚上做，在当天辛苦的野外工作结

束以后再做，而这时候研究人员已经很疲乏，需要休息了。所以研究人员常常要有一定的毅力，不管怎样都要坚持每天都做野外观察记录，即使花费 15 分钟的功夫来做也是好的。在我的实践里，有时候也有过这种情形——由于过度疲劳而把记录的事情放松了。那样的话，最好休息一天，用几个钟头的功夫来静静地和认真地补上记录。

野外笔记簿应该收藏得特别仔细，在进行野外工作的时间里也罢，在当天的野外工作结束以后也罢，笔记簿都要自己带着而决不能落在别的任何人的手里，因为笔记簿是一种重要的文件，应该经常跟有关勘探的其他重要文件放在一起并且随身携带的。

勘探回来把收集的材料整理完毕以后，接着就要做第二件工作——进行野外工作总结。我十分重视这件工作，我认为这样总结出来的野外工作报告在许多方面都比最后的工作报告重要，因为前一个报告通常是把在野外直接观察到的现象作出客观的总结，因而这样的报告所具备的价值，经过详细整理的最后工作报告倒不一定具备，这是由于最后工作报告的内容受着种种外来因素的影响，既要参考一些文献，又要加进去别人的意见，还有许多别的外来的因素。

在勘查的旅途上根据最初的印象写下来的报告，从问题本身的提法这点来看，比事后思考过的和整理过的报告正确得多和深刻得多。

野外工作的进行方法和顺序

地球化学家在出发到野外去工作以前，除了应该准备前面所讲的那些装备品以外，还要做许多准备工作。

首先，对于要去的地区和要研究的问题应该先有所认识，这就要参看现有的有关文献。如果勘查工作的任务是寻找某一种化学元素，那就得事先认识清楚这种元素及其化合物的性质。研究人员除了研究现有的文献以外，无论如何还要到博物馆去熟悉一

下，要去的那个地区一些典型的样品，如果勘查的对象是一些元素，还应该熟悉这些元素特有的矿物。特别重要的是事先要设法得到详细的地形图和地质图(或复制品)，为的是在勘探的过程当中能够用彩色铅笔在图上画出走过的路线，记下一些重要矿物的发现地点。

在出发以前，一定要详细知道野外研究所用的各种方法；不但要确切地懂得怎样使用所携带的仪器，而且要学会修理这些仪器。

研究人员到达目的地以后就要开始第二步工作。一到目的地就要先了解一下：这个地区的资料，有哪些是可以从当地的科学团体、博物馆、图书馆和学校那里收集到的。在这个地区里，哪些地方可以开采矿石，哪些地方有天然的露头，这一类的资料应该在居民中收集。在许多情况下，分析地名也是非常重要的，因为地名本身常常表示这个地区里有一些矿山或者矿石开采地。中亚细亚的一些地名里有“干”字的表示矿山，“库梅什”表示银，“卡耳巴”表示锡或者青铜，等等。如果发现某



吉尔吉斯坦札拉尔阿巴德省特有的地形

个地方在造房子或者在铺马路，那么应该打听清楚，材料是从哪里运来的；应该调查明白，哪些地方正在修筑新路、修筑桥梁或者铺设铁轨。在集体农庄和国营农场里，应该仔细问问，哪里在掘井，当地居民砌炉灶用的粘土以及造房子用的石灰石或者涂料，都是从哪里取来的。

当地居民时常会想起来告诉你说，从前某某勘探队到这个地区里来进行过工作；许多熟悉当地情况的老住户都记得很多事情，他们会告诉你某个地方有什么矿产。在许多地区还要打听清楚当地有没有旧的开采地、采矿的废石堆、矿石熔炼以后剩下的矿渣堆和熔炼炉的残迹等等，这也是非常重要的。

当然，研究人员初步了解一个地区的矿物学上和地球化学资料的最大来源与其说是天然露头，不如说是人工开采过的地方，就是矿山和开采场附近的废石堆，这些废石堆可以为矿物学家和地球化学家提供不显著的、然而时常是全新的资料。矿床里总是大量聚集着有用矿石伴生的矿物，因此，只要下功夫研究新采掘出来的东西，把样品的断面在阳光底下来鉴定所含的矿物，那么在废石堆里就常常能够收集到很重要的资料。一般说来，矿物学家或者地球化学家从开采过矿石和石头的地方留下来的废石堆和矿堆里所得到的资料，比根据地下采掘所得的资料有价值得多，因为在地下坑道里是很难进行精密的观察的。

在露天矿和正在开采的矿山上，就应该多跟矿工谈谈，把收集到的样品多问问他们，请他们多注意有趣的事物，请他们把惹人注目的一切东西都留下来，这样做是非常有益的。可能而且一定要使当地居民对勘探工作发生兴趣，把你自己的工作讲给他们听听，讲一讲哪些矿物是可能找到的。应该在当地居民当中形成一种社会舆论，应该争取他们对勘查工作的同情和协助，这是勘查工作成功的重要因素之一。等到当地居民对这件工作开始感兴趣了，甚至孩子们也会到河边去捡一些石子送给勘探队，那么离找到新矿床已经不远了。所以说，新矿床的

重大发现常常是当地居民和当地的矿物爱好者的功绩。

每到一处露头、采石场、采矿场和矿山，都要把这些地方所有的矿体样品收集齐全，既要注意矿物大量聚集的地方，又要注意矿物分散得只微微剩下一点痕迹的地方，因为后一种情况表示这种地方发生过某些地球化学的作用。

收集样品的时候当然应该同时观察矿物在岩石里的形状、各种矿物的相互关系和形成的年代等等。研究人员对一个地区有了初步的认识后，就可能在这个地区正确地进行地球化学研究。这种研究纯粹属于科学研究的性质，下面所讲的就是有关这种研究的问题。

地质学家和岩石学家的野外工作，都是从研究一般的地质情况、地质构造和各种岩石的相互关系这些方面着手的；为了达到这一目的，他们通常应该先广泛地了解整个区域的一般情况，然后才能开始详细研究某一个地段的具体情况。

但是地球化学家的野外工作通常不是这样做的。由于他的工作性质不同，他一定要从具体的材料入手，从矿床本身入手。他既然已经概括地知道这个地区的地质情况，那么他就应该从开采过矿石的矿堆和废石堆来开始他的研究工作。所以，到一个地区去勘探或者旅行，在进行研究工作的时候，地质学家所用的方法是跟地球化学家所用的方法截然不同的。

地质学家到了某一个矿区后，应立刻到平窿或者竖井里去看看工作面，看看岩石和矿石的天然露头等等。

而地球化学家和矿物学家却不是这样，他们要去的地方首先是矿堆和废石堆。至于工作面，只有当他们会在阳光下凭目力来辨别各种矿物以后才需要去，因为在工作面上利用人工照明来鉴定矿物是一件相当困难的工作，这件工作一定要在长时期里积累了丰富的经验以后才能做好。只有先把矿堆和废石堆里的矿物详细研究过以后，地球化学家才要研究比较一般的矿物成因问题和地球化学问题，为了研究这些问题，他才要把工作转移到天然露

头工作面和现有的坑道略图。

那么，矿物学家和地球化学家来到矿山以后，为什么通常连矿堆都不去，而要到废石堆去，也就完全可以理解了。

我个人碰到过许多次这样的事情，我一到某个地区，不立刻到矿山去而是到废石堆去，当地的工程技术人员对我这种举动不但感到惊奇，而且公开表示不满。我们不要忘记，为了研究清楚有关某个矿床的最复杂的问题，为了了解这个矿床的成因，就一定要详细研究能够观察到的所有矿物的错综复杂的情况、各种矿物的相互关系以及这些矿物跟周围岩石的关系等等。

因此，地球化学家初次到某个地区去收集科学资料的时候，他的工作可以按照下面的顺序进行：先仔细研究废石堆；其次研究矿堆；再其次研究露天矿的工作面与露头。这一切都做完以后才去看地下的采掘，研究新的地下工作面里的各种矿物的相互关系。

前面我们已经说过，地球化学家在收集样品的过程中，应该把收集到的样品经常从矿物学和地球化学的角度进行分析，所以他一定要把注意力集中起来详细地比较观察到的一切现象。我记得我创造过一个理论，说是伟晶岩化作用跟祖母绿矿坑里祖母绿的生成作用有连带关系。但是过了很久，我们在一种伟晶岩里发现了一些极小的铌铁矿晶体，证实这种岩石是典型的伟晶花岗岩[1]以后，这个理论才得到科学家的认可。

地球化学家在考虑他所观察到的各种现象的时候，应该想明白各种矿物的相互关系，根据他自己的经验来把这些矿物的生成条件重现一遍，然后要把得到的所有资料进行比较性质的分析，这样，他就会逐渐得到一种资用假说来推测某个矿床的成因。这样的假说对于未来的勘探工作和试掘工作是完全必要的，但是不应该忘记，资用假说决不可以压倒确凿的事实。如果事实和假说

---

[1] 铌铁矿常和祖母绿伴生，都含在伟晶花岗岩里。——译者注

不合，就一定要放弃这种假说。放弃假说的时候还要进行极深刻的自我批评和自我检查；善于根据微小的、极难察觉的事实来作出一些结论，这些结论既能阐明一切已知现象的相互关系，又能提示一些当时还不知道的事物，这正是勘探工作和试掘工作成功的原因。任何资用假说一定要能够指出新的工作途径，才是有益的假说。

我是有意识地十分重视这个问题的，因为时常有这样的情况，野外工作人员最先得到的资用假说已经跟新发现的事实肯定发生了矛盾，而这时候他竟还不愿意放弃这种假说。

还有一个规则也要强调一下，这个规则本来是研究人员应该遵守的，然而遗憾的是，近来他们对这个规则遵守得不够严格。研究人员应该把下面两方面分别清楚，一方面是事实的本身和他所观察到的现象，另一方面是理论上的和一般性的结论。在野外工作报告里也罢，在最后工作报告里也罢，研究人员都要把这两部分清楚地分开，以便每一个人读了这些报告都看得出来，写报告的人到哪里为止是叙述他从观察里得到的实际资料，从哪里开始是叙述他从逻辑上和理论上的推论。应该预先提醒青年研究人员，千万不要把具体的实际资料撇开不管而只热心作出最后的结论，因为那样的话，这些结论就会变成空中楼阁。

这就是为什么我要特别坚持、一再强调精确地和仔细地观察自然现象的必要性。

研究人员在野外观察的时候，任何琐碎细小的事物，只要没有逃过他的眼睛，都要记下来。他应该把野外笔记簿变成经常的日记，把他自己的想法和观察到的东西记在里面，也只有这样，他才能作出正确的结论和决定。还有，他到某个矿区或者某个地区去的第一年的工作性质和所做的记录的性质，应该跟他在以后几年的工作性质和所做的记录的性质划分得相当清楚。初去的时候，一定要特别注意积累纯粹属于事实的资料；第二年就有必要检查他所得到的资用假说；到了第三年，就可以研究清楚一般性

的问题，而且通常正是第三年的研究会有新的发现，会提示出准确的勘查方向[1]。这些期限是不是能够缩短，要看研究人员的经验，也要看他去勘查以前，别的研究人员对这个矿床或者地区从地质学和矿物学的观点所进行的研究已经达到怎样的深度。

如果在野外工作期间就把遇到的矿物和岩石预先鉴定好，就可以大大地提前得到最后的结论。如果有流动的地球化学实验室，如果在野外期间可能把一些样品送到最近的实验室去进行定量分析，那么野外研究工作进行起来就方便得多，最后的结论也就可以得到得早些。

最后，像我们已经知道的那样，记录及参看地球化学和矿物学的文献，都是极其重要的事情。

[1] 作为勘查工作的指导书，我推荐奥勃鲁契夫的名著《野外地质学》，1932年出版，320页(特别是183～207页)。——编者注

氕—Protium　原子量是1的氢的同位素。参见氢条。

氘——Deuterium（D）　原子量是2(2.01471)的氢的同位素，也叫“重氢”；1932年发现。它的希腊文原意是“第二”。氘跟氧能生成重水 D_2O 和过氧化物 D_2O_2，这种过氧化物比普通的过氧化氢稳定。参见氢条。

氖——Neon（Ne）　原子序数10；原子量20.183。它是一种惰性气体；一切惰性气体彼此间不能生成化合物，也不和任何别的物质化合，所以惰性气体在性质方面和所有别的元素差别很大。氖是1898年拉姆赛和特拉威尔斯发现氪和氙的时候一起发现的。它的希腊文原意是“新的”。空气里含有极少量的氖气。氖气用来填充气体放电灯(霓虹灯)，发出红光。

氚——Tritium　原子量是3的氢的同位素，也叫“超重氢”。参见氢条。

氙——Xenon（Xe）　原子序数54；原子量131.3。惰性气体；是1898年拉姆赛和特拉威尔斯发现氖和氪的时候一起发现的。它的希腊文原意是“外来的”。空气里含有极少量的氙气。质量是空气的4.5倍。

汞——Hydrargyrum（Hg）　原子序数80；原子量200.61。在普通状况下是液态的金属只有汞。人类在远古时代就知道了汞。它的希腊文原意是“液体的银”，中国俗称“水银”。它在负39.3摄氏度凝固；在357摄氏度沸腾；密度13.6克/厘米^3。它能溶解许多种金属(金、银、铜、锡)而生成种种液体的和固体的合金，这些合金的总名称是汞齐。汞的蒸气有毒。汞可以用作许多种仪器(譬如温度计)，医药上也用它，又能用它从矿

石里析出金来，可以制造雷汞——雷汞是最重要的一种起爆药。辰砂(HgS) 是自然界里主要的汞矿。

亚锰 见铼条。

放射性元素 所谓放射性元素，是指一些能够不断放射出不可见射线的元素，这些不可见射线能够像 X 射线那样透过各种物质，使附近空气能够导电，使照相底板感光，等等。放射性元素的射线分成 α、β、γ 3 种。钾的原子量 40 的一种同位素，铷、铟、镧、钐、铼的某些同位素，铀、钍、钋、镭、锕和所有的超铀元素，都有放射性。

硅——Silicium (Si) 原子序数 14；原子量 28.09。地壳里除氧以外，要数硅分布最广。硅在自然界里绝对没有游离态的，都是生成氧化物(所谓硅石 SiO_2) 或者生成硅酸盐。石英这种矿物和它的许多种变体都含硅石。许多很重要的工业品像玻璃、瓷器、水泥、砖，它们主要的成分都是硅酸盐；一些主要的岩石也是这样：花岗岩、玄武岩、正长岩等等。是盖吕·萨克和泰纳尔在 1811 年发现的。但是直到 1823 年才由柏齐利阿斯断定它是一种元素。硅的俄文名称是从能发火的燧石得来的，它的拉丁文原意是指“石头”。

金——Aurum (Au) 原子序数 79；原子量 197.2。人类在远古时代就知道了金。它是有延展性的柔软金属，很难被氧化。它只能溶解在王水里。它不容易和别的元素化合；自然界里已经知道的只有它和银的合金以及它和硒、碲的化合物。化学纯净的金的密度是 19.3 克/厘米^3(天然的金含银 15% ~ 25%，它的密度是 15 ~ 16 克/厘米^3)，熔点 1060 摄氏度，沸点 2677 摄氏度。薄的金叶稍显绿色。金是一种货币本位，它的价值主要就是这样来决定的。它在工业上的用途不大，只用它制造电器上的接触子，用来镀金，用在照相和医药方面。

氟——Fluorine (F) 原子序数 9；原子量 19.0。是一种卤素。1886 年莫瓦桑第一个析出了游离态的氟，虽然早在 1810 年

安培就认为它是元素。氟的拉丁文原名是从萤石(Fluorite)得来的。氟的俄文名称是从一个希腊字根来的，这个字根的意思是“破坏的”。氟在普通状况下是气体，厚层的氟气显浅黄绿色。密度 1.11 克/厘米^3(液体)；熔点零下 223 摄氏度；沸点零下 188 摄氏度。游离态的氟气没有用途。氟化氢或氢氟酸在化学实验室里应用很广，侵蚀玻璃也用它。

氡——Radon (Rn) 原子序数 86；原子量 222.0。最重的惰性气体；是镭放射蜕变的生成物。氡的寿命不长：半衰期只有 3.85 天；它变成氦气和固体的镭(Ra)，是在 1900 年道尔恩发现的。它和镭在原文里是从同一个字根来的。氡也叫做镭射气，可以用它治疗癌症。

钆——Gadolinium (Gd) 原子序数 64；原子量 156.9。属稀土元素。玛林那克在 1880 年第一次发现这种元素；它的原文名称是在 1886 年从加多林石(Gadolinite)得到的。

钇——Yttrium (Y) 原子序数 39；原子量 88.92。就它的化学性质来说，它很像镧系元素，而且总和镧系元素一同被发现，所以也把它列入了稀土。磷酸钇矿和硅铍钇矿(加多林石)里都含有大量的钇，是 1794 年加多林发现的。1828 年味勒第一次制得纯态的钇。现在钇还没有很大的实际用途。

氧——Oxygenium (O) 原子序数 8；原子量 16.0000。氧的原意是指“酸的生成者”，是 1774 年普利斯特利发现的。在自然界里分布极广，占地壳总量的 49.5%。在各种自然变化过程里起很大的作用，水、大多数矿物和有机体里都含氧。冶金工业上(炼铁的时候)用得很多，和氢气或者乙炔混合用在焊接金属上，也用在许多别的化学工业上；液态的氧或液态的空气用做猛烈的炸药。

氦——Helium (He) 原子序数 2；原子量 4.003。是一种惰性气体。1868 年詹生第一个发现太阳周围的大气里有氦的光谱线。到 1895 年，拉姆赛发现地球上也有氦气，是从钇铀矿里

分离出来的。它的原文名称是指太阳。它是氢气以外最轻的气体；它的质量只有空气的 1/8。在自然界里，氦气不但空气里有，还从地底下和别种天然气体一同冒出地面。放射性元素在蜕变过程当中生成氦气；放射性元素原子核放射的 α 粒子，就是氦的带正电的核。氦气和氢气都用来填充飞艇，用氦气填充飞艇更能防止爆炸。氦蒸发的时候可以得到地球上最低的温度，几乎低到零下 273 摄氏度。

砷——Arsenium（As）　原子序数 33；原子量 74.91。砷的俄文原意是“毒鼠药”，它的拉丁文名称是用含砷的一种矿物颜料的名称。人类在远古时代就知道了砷。黑褐色的准金属，质地很脆，容易飞散，有大蒜臭味。固态的砷在 633 摄氏度的时候不经过液态而直接升华。在 36 个大气压(大约 3.65×10^6 帕)下，在 818 摄氏度的时候熔化。砷和它的可溶性盐类都有毒。砷可以和铅、铜制造合金，又用来制造杀灭农业害虫的药剂；制造玻璃可以用砷脱色。

钌——Ruthenium（Ru）　原子序数 44；原子量 101.7。属铂族元素。是 1844 年俄罗斯科学家克劳斯在嘉桑发现的，它的原文名称是纪念“俄罗斯”。钌很脆。密度 12.26 克/厘米^3；熔点 1950 摄氏度。在自然界里和别的铂族元素混在一起，含量极少，所以现在还没有发现它的用途。

钋——Polonium（Po）　原子序数 84；原子量 210.0。放射性元素。是居里夫人在 1898 年发现的，居里夫人为了纪念她的祖国波兰(Poland) 取的名字。现在还没有制得纯态的钋。化学性质很像碲，属放射元素的铀系。半衰期是 137.6 天。

氪——Krypton（Kr）　原子序数 36；原子量 83.80。惰性气体，是 1898 年拉姆赛和特拉威尔斯发现氖和氙的时候一起发现的。它的希腊文原意是“隐蔽的”。空气里有氪气，但是含量极少。

氢——Hydrogenium（H）　原子序数 1；原子量 1.008。最

轻的元素，在元素周期表里占第一位。氢在地壳里，包括水和空气在内，一共占 1%。氢是无色的气体，质量是空气的 1/14。16 世纪前半期，巴拉塞尔士用铁跟硫酸起作用，第一个制得了氢气。1766 年，卡汾狄士确定了氢气的性质，指出了它和别的气体不同的地方。1783 年，拉瓦锡第一次从水里制得了氢气，证明水是氢和氧的化合物。地球上只有化合态的氢：水、石油、活细胞组织里都含氢；在大气的上层才有极少量游离态的氢。火山爆发的时候也有氢气喷出。用分光镜可以看出太阳和许多别的恒星上也有氢气存在。根据现代的研究，宇宙空间里的物质含游离态的氢气 30%～50%，所以氢原子是宇宙的主要组成部分。除去原子量是 1 的氢以外，还有两种很少的同位素，它们的原子量是 2 和 3，它们和氧化合生成“重水”。原子量是 1 的同位素特称为氕，原子量是 2 的称为氘，原子量是 3 的称为氚。氢气用来填充氢气球和飞艇，因为它比空气轻，所以能使飞艇和气球上升；焊接金属也可以用氢气，它能生成 2000 摄氏度高温的火焰；化学工业上用氢气可以从煤制得人造石油。

硫——Sulphur（S） 原子序数 16；原子量 32.066。人类在远古时代就知道了硫。硫有几种同素异形体：斜方硫、单斜硫、无定形硫。硫的晶体显淡黄色。硫在自然界里分布很广，有游离态的，也有硫化物的矿石和硫酸盐(石膏、硬石膏等)。硫可以制造硫酸，可以杀灭农业害虫(葡蚜)，又用在橡胶工业上。猎枪火药、火柴、烟火、群青(一种蓝色颜料)的成分里都含硫；医药上也用硫。

硒——Selenium（Se） 原子序数 34；原子量 78.96。是柏齐利阿斯在 1817 年发现的；它的希腊文原意是“月亮”。硒能导电，它的导电率随着对它照明的程度而改变。所以硒的主要用途是制造光电管。它的化学性质像硫，特别像碲。密度 4.8 克/厘米^3；熔点 220.2 摄氏度；沸点 688 摄氏度。在自然界里是分散的，有少量混在硫里。除用来制造光电管以外，电工业、橡胶工业、玻

璃工业上也都用硒，还有电视机上也用它。但是它的用途还很有限。

砹——Astatium（At） 原子序数85；寿命最长的、半衰期8.3小时的一种同位素原子量210。最早是在1940年，用α粒子冲击铋原子得到的。它的希腊文原意是“不稳定的”。已经知道的同位素有20种。它的性质和门捷列夫预言的完全符合，门捷列夫原来把它叫做类碘。

钒——Vanadium（V） 原子序数23；原子量50.95。是1830年萧夫斯特列姆发现的，它的命名是为了纪念女神凡娜吉斯。钒是有钢灰色的金属，非常坚硬，而又不脆，在自然界里分布得相当广，可都处于分散状态。从含钛的磁铁矿和沥青质页岩里可以提出钒来。钒的主要用途是制造优质钢，这种钢特别坚硬，弹性很大，不容易断裂。化学工业上用钒做催化剂，陶瓷工业上用它做颜料，照相上用它显影，医药上也用得上它。

钐——Samarium（Sm） 原子序数62；原子量150.43。属稀土元素。是1879年布阿波德朗发现的，原文名称是从萨马尔斯基石得来的。钐的许多盐类能使电弧的光显粉红色。钐有放射性，只放出α射线而变成钕。

钍——Thorium（Th） 原子序数90；原子量232.12。最重要的放射性元素之一。是1828年柏采利乌斯发现的，它的原文名称来自斯堪的纳维亚战神土尔(Тор）的名字。1898年，居里夫人和施密特发现钍有放射性。游离态的钍是金属；密度11.7克/厘米^3；熔点1842摄氏度；外观像铂。钍的半衰期是130亿年。它在蜕变过程当中生成一系列放射性元素，都属钍系，最后变成原子量208的铅。含钍的主要矿物是独居石(磷铈镧矿)和钍石。独居石是从含独居石的沙里提取出来的。氧化钍对于制造煤气灯罩有重大意义。钍和铀一样，分裂的时候放出大量的原子能。

钕——Neodymium（Nd） 原子序数60；原子量144.27。

属稀土元素。1885年，奥爱尔分析一向认为是元素钕而得出两种元素：钕(原意是“新的双生子”)和镨。钕的盐类显粉红色。

氩——Argon（Ar）　原子序数18；原子量39.944。惰性气体。氩的原文名称就是从它的惰性得来的，它的希腊文原意是“不活动的”。拉姆赛和累力在1894年发现氩气。氩气在自然界里是空气的成分之一，空气里大约含氩气1%。氩气可以用来填充气体放电灯，它发出蓝色的光辉。

氮——Nitrogenium（N）　原子序数7；原子量14.008。无色气体，占我们周围空气体积的4/5。丹·卢瑟福在1772年第一个指出有氮气这样一种特别的物质存在，但是到了拉瓦锡才证明氮是一种元素，并且给它取了现代通用的名称——氮(它的希腊文原意是“没有生命的”)。氮的拉丁文名称是从“硝石”和“要素”两个字组成的。除空气里有氮气以外，一切有机体也都含氮；硝石和智利硝石是钾和钠的硝酸盐，也是氮的化合物。游离态的氮气用来充电灯泡；氮的化合物用做肥料和制造炸药，都是很重要的。

氯——Chlorine（Cl）　原子序数17；原子量35.457。是1774年舍勒发现的；它的原文名称是说“绿色的”。氯是黄绿色的气体，比空气重，自然界里有氯的钠盐和钾盐，或是溶解在海水里，或是生成厚层的岩盐(NaCl)。在化学工业上是重要的元素之一，主要是用它制造漂白粉；在制造染料、颜料、许多种药物和毒气上都是非常重要的。大量的氯用于漂白织物和纸，消毒饮用水和在农业上杀灭害虫。氯的钠盐(NaCl)大量用做调味品(每人每年要用2～10千克食盐)。

稀土元素——Terra Rarae(T. R.)[1]门捷列夫周期表的57格里，不像别格那样只有一种元素，而是有15种元素，它们的性质彼此非常近似。这15种元素的原子序数从57到71，总称为

---

[1] 现在用R. E. 作为稀土元素的符号。——审读者注

稀土元素，也叫做镧系元素。稀土元素包括：镧、铈、镨、钕、钷、钐、铕、钆、铽、镝、钬、铒、铥、镱、镥。稀土还可以包括元素钇(39号元素)。稀土元素又可以分做钇族和铈族。稀土元素的化学性质彼此十分近似。游离态的稀土元素都是熔点很高的金属，能在常温下使水分解。它们在自然界里总是混杂在一起。要把它们一一分开是非常困难的。含稀土元素的主要矿物是独居石(磷铈镧矿)。目前只有铈有实用价值。发现一个个稀土元素的历史是相当复杂的。1794年，加多林第一个发现“稀土元素”的存在；最后发现的一个稀土元素是镥；不久以前，用人工方法制得了61号元素——钷。关于每种稀土元素的补充材料，见各该元素的分条说明。

超铀元素　见越铀元素条。

越铀元素　门捷列夫元素周期表里在铀以后的元素，就是原子序数92以后的元素，叫做越铀元素或超铀元素。它们全是用人工方法制得的。最先研究的是镎(1939年)。越铀元素都是放射性的。它们的寿命都比我们地球的年龄小得多，所以在自然界里已经找不到它们。现在已经知道的有下面几个越铀元素：镎、钚、镅、锔、锫、锎、锿、镄。

钯——Palladium (Pd)　原子序数46；原子量106.7。属铂族元素。是1803年沃拉斯顿发现的，它的名称是用一个小行星智神星(Pallas) 的名字。是铂族元素当中延展性最大和最柔软的金属。奇怪的是它能够大量吸收氢气(1体积的钯可以吸收300体积的氢气)，吸收以后还保持金属状态，但是体积增大。因为它的外表很漂亮，所以用它做装饰品。

钫——Francium (Fr)　原子序数87。法国人佩列在1939年最先在锕的天然蜕变生成的元素当中发现这种元素，后来又用人工方法制得它。钫的同位素的寿命不长，因此研究它的化学性质很困难。有一种同位素的原子量223。它的性质像铯，是最活泼的一种金属。它的原文名称是纪念佩列的祖国的。门捷列夫曾经

预言钫的存在，他叫它做类铯。

钠——Natrium（Na） 原子序数 11；原子量 22.997。是 1807 年台维电解苛性钠发现的；俄罗斯化学家符拉索夫(Семен Прокофьевич Власов)在彼得堡非常成功地重复了台维的实验。钠的阿拉伯文原意是指碱。钠是银白色金属，和蜡一样柔软，在空气里被氧化(所以要保存在煤油里)，比水轻(密度 0.971 克/厘米^3)。在自然界里分布很广，生成硅酸盐类和卤化物。钠本身和它的盐类在工业上的用途很大(食盐、碱、芒硝等)。

锕[1]——Athenium（An） 1951 年发表用碳核冲击铀原子，得到原子序数 99 的元素，但是到现在还没有得到证实。这个名称是纪念希腊的城市雅典的。

钬——Holmium（Ho） 原子序数 69；原子量 164.94。属稀土元素。是 1880 年瑞典化学家克利威发现的。钬的盐类是粉红色的。钬的原文名称是从瑞典首都斯德哥尔摩的原名得来的。

钙——Calcium（Ca） 原子序数 20；原子量 40.08。是 1809 年台维和柏齐利阿斯发现的。它的原文名称是指石灰石。属碱土金属；是有延展性而相当坚硬的白色金属，熔点大约是 800 摄氏度，沸点 1240 摄氏度。钙的碳酸盐、硫酸盐和硅酸盐在自然界分布很广。地壳里钙的平均含量是 3.4%，只有 4 种元素(O、Si、Al、Fe) 在地壳里含的比它更多。目前金属钙还没有什么特别用途。

钛——Titanium（Ti） 原子序数 22；原子量 47.90。在自然界里分布很广，构成地壳总量的 0.6%。它是 1795 年克拉普洛特发现的，但是直到 1857 年味勒和戴维尔才析出纯态的钛，它的原文名称是取神话里一个英雄的名字。钛是很硬很脆的银白色金属；密度 4.5 克/厘米^3；熔点 1800 摄氏度。钛在冶金工业上特别重要：它能把熔在钢里的氧和氮完全去尽，这样制得的钢

---

[1] 99 号元素现名为锿(Es)(全书同)。——编辑注

铸件成分非常均匀，钢的硬度和弹性也很大。金属钛不管温度改变得多么剧烈，也还是很坚韧，因此在高速航空事业上可能会有很大的用处。二氧化钛可以制造非常好的白色颜料(钛白)。

钪——Scandium (Sc)　原子序数 21；原子量 44.96。是自然界里最分散的元素之一。门捷列夫早在 1871 年就预言了它的存在(类硼)。1879 年，尼尔逊用光谱分析的方法发现了它。关于钪的性质还研究得不多。它的原文名称是从斯堪的纳维亚半岛 (Scandinavia) 得来的。

钚——Plutonium (Pu)　原子序数 94。1941 年用氘子——重氢的原子核冲击铀，第一次制得了钚。它是放射性元素。现在知道的同位素有 12 种：寿命最长的一种同位素原子量 242；半衰期是 50 万年；原子量 239 的同位素是原子锅炉的一种重要产物。化学性质和铀近似。钚的原文名称是从冥王星(Pluto) 得来的。天然铀矿里发现极少量的钚(大约每 1400 亿个铀原子有 1 个钚原子)。

溴——Bromine (Br)　原子序数 35；原子量 79.916。是 1826 年巴拉德发现的；它的原文名称是指恶臭。溴是沉重的暗红色液体；它和别的卤素一样，化学性质非常活泼，几乎能和一切元素化合；和金属的化合反应特别激烈。溴滴在皮肤上能引起严重的烫伤。溴在自然界里主要是和金属钾、钠、镁生成化合物。克里木的盐湖里含溴很多。溴用在医药和照相工业上。

硼——Boron (B)　原子序数 5；原子量 10.82。是 1808 年由英国的台维、法国的盖吕·萨克和泰纳尔发现的。它的原文名称是从硼砂(Borax) 得来的。从熔化的铝里析出的结晶的硼几乎和金刚石一样坚硬。硼在自然界里生成硼酸和硼砂，有些硅酸盐里也含硼。硼的主要用途是制造搪瓷，也用在医药上。硼和碳、和氮的化合物有非常大的硬度。

碘——Iodine (I)　原子序数 53；原子量 126.51。碘是典型的准金属。通常状况下是固体，容易升华，也很容易溶解在许

多种溶剂里。是 1811 年库图阿发现的。工业上从智利硝石里提取的碘每年达到 1000 吨。含有石油的地下水里和海藻里也有碘，也从这些地方提取碘。碘是自然界里分散的元素之一。它的希腊文原意是"紫色的"，表示它的蒸气的颜色。医药上、X 射线治疗上用得很多，又用来制造起偏振玻璃，用在照相和染料工业上。

砬[1]——Alabamium（Ab） 门捷列也夫曾经预言原子序数 85 的元素的存在，并且预言了它的性质("类碘")。1931 年美国发表说发现了原子序数 85 的这个元素，叫它做砬；但是这个消息并没有得到证实，所以砬这个名称也没有给肯定做第 85 号元素。参见砹条。

铌——Niobium（Nb） 原子序数 41；原子量 92.91。是 1801 年哈契特发现的，把它叫做钶。到 1846 年，罗泽把钶分成两种元素，一种是铌，另一种是钽。美国现在还用钶这个名称，而欧洲各国都改用铌了。铌这个名称是取女神尼奥勃(Niobe)的名字，她是希腊神话里的英雄坦塔拉斯(Tantalus 钽的名称就是从它得来的)的女儿。纯态的铌是 1907 年制得的。铌是坚硬的灰白色金属，有可锻性，化学性质非常稳定。铌在自然界里总是和钽、钛聚在一起。用铌制成的特种合金和钢可以焊接机器上的重要部件，因为铌能够大大提高焊接口的坚固程度。用铌又能制造超硬质合金；真空管制造工业上也特别需要用铌。

钴——Cobalt（Co） 原子序数 27；原子量 58.94。是 1735 年布兰特发现的，原名是从一个地神的名字得来的。是非常坚硬的灰白色金属，有延展性，熔点 1490 摄氏度。钴可以被磁化，但不及铁。钴粉能吸收大量的氢气。物理性质和化学性质很像铁。自然界里有钴的地方：陨石里有钴和镍、铁的合金；地壳里有钴和砷、硫的化合物。用来制造特种钢，制造蓝玻璃和蓝搪瓷

---

[1] 元素周期表里 85 号元素现在称为砹(At)(全书同)。——编辑注

用它做颜料，用煤制造发动机燃料的时候用它做催化剂。

铍——Beryllium（Be） 原子序数4；原子量9.013。最轻的金属之一。是1797年沃开伦发现的，并且因为它的盐类有甜味，所以给它取名铅(原意是“甜味的”)。但是只有法国用这个名称。铍的原文名称是从绿柱石(Beryl)这种矿物得来的。铍是非常坚硬而又轻巧的白色金属(密度1.85克/厘米^3)，在空气里很稳定。可以用它和铜制造合金(铍青铜)，也可以和别种金属制造合金，这些合金像钢一样硬，即使对它加压也不会“疲乏”(可以用做发条)。自然界里很少有大量聚集的铍。

钾——Kalium（K） 原子序数19；原子量39.096。1807年台维电解苛性钾，第一次制得了钾。钾的原文名称是从阿拉伯文的“强碱”得来的。自然界里没有游离态的钾，但是钾的硅酸盐和卤素化合物却分布很广。原子量40的一种同位素是放射性的。钾是银白色金属，在空气里很快就被氧化，所以要把它保存在煤油里。钾和蜡一样柔软，熔点63.5摄氏度，沸点762摄氏度；它比水轻(密度0.862克/厘米^3)。它能和钠制成合金，这种合金在常温下是液体，可以代替汞制造温度计。金属钾的用途不大，因为价值比较便宜的钠可以代替它。

铋——Bismuth（Bi） 原子序数83；原子量209.00。很脆的白色金属，稍带红色。人们早在古代就知道铋的化合物，但是那时候还不会分别铋和铅；15世纪的炼金术士瓦伦汀第一个析出了纯态的铋。铋容易熔化。含铋的合金用在印刷业上，也用来制造各种防火器材。当温度接近绝对零度的时候，铋的导电率大大增加，这点性质是很有用的。

铂——Platinum（Pt） 原子序数78；原子量195.23。是铂族当中最重要的元素。1748年，安多尼奥·乌洛阿在平托河的金砂里发现了铂；1750年沃茨顿第一个说铂是一种元素。铂的西班牙文原意是指银，中国俗名“白金”。密度21.4克/厘米^3；熔点1773.5摄氏度。是有光泽、有延展性的金属，在空气里即使

加热到极高温度都不发生变化。因为很难溶化，而且化学性质稳定，所以在科学和技术的实验室里有很大用处。铂在自然界里生成游离态。大部分的铂都从冲积矿床里开采。

铅——Plumbum（Pb） 原子序数 82；原子量 207.21。人类在远古时代就知道了铅。铅是又软又重的青灰色金属。密度 11.34 克/厘米^3；熔点 327 摄氏度。铅的用途很多。主要是用来包电缆和制造蓄电池板；大量的铅用在制造子弹和霰弹。用铅可以制成许多种合金：巴弼合金、铅字合金等等。铅的化合物用做白色颜料。自然界里主要的铅矿是方铅矿（PbS），铅也就是从这种矿物里提炼出来的。

钲[1]——Centurium（Ct） 1951 年发表消息说，发现了原子序数 100 的一种新元素，但是到现在还没有得到证实。

铈——Cerium（Ce） 原子序数 58；原子量 140.13。属稀土元素。是 1803 年希新格、克拉普洛特、柏齐利阿斯共同发现的，它的原文名称是从一个小行星谷神星（Ceres）的名字得来的。含铈的混合物可以制造打火机里的“火石”，医药上也用它，又可以用它显示炮弹发射出去的弹道。铈是从独居石（磷铈镧矿）里提出来的，是制取钍的副产物。

钶——Columbium（Cb） 见铌条。

铊——Thallium（Tl） 原子序数 81；原子量 204.39。是 1861 年克鲁克斯用光谱分析的方法发现的。它的希腊文原意是“绿色的枝条”，因为它的光谱里有绿色的光谱线。铊是比铅轻的金属，非常容易飞散，熔点 302 摄氏度，火焰显绿色。在自然界里是分散的。制取铊的主要原料是煅烧某些金属的硫化物矿石以后的灰。耐酸合金里含铊，制造光学玻璃和光电管也用它。

铀——Uranium（U） 原子序数 92；原子量 238.07。在不久以前还是元素周期表里的末一个元素。是 1789 年克拉普洛特

---

[1] 100 号元素现名为镄（Fm）（全书同）。——编辑注

在沥青铀矿里发现的，但是直到1841年佩利果才制得纯态的铀。铀是难熔的银白色金属；密度18.7克/厘米^3；熔点1690摄氏度；有放射性。1898年柏克勒尔正是由于研究铀才发现放射现象的。天然铀有几种同位素；最多的是原子量238的一种；原子量235的一种同位素含量0.7%。原子量238的铀经过放射蜕变而生成铀系元素，原子量235的铀蜕变以后生成锕系元素。铀系的最后生成物是原子量206的铅；锕系的是原子量207的铅。铀-235的核一受到慢中子的冲击，很容易分裂成两个差不多大小的裂块，同时放出大量的原子能。铀的原文名称是从天王星(Uranus)来的，天王星是在发现铀不久以前发现的。

钼——Molybdenum（Mo）　原子序数42；原子量95.95。是1782年赫尔姆发现的，但是直到1895年，莫瓦桑才析出纯态的钼。它的希腊文原意是“铅”，因为辉钼矿和铅类似。自然界里钼的主要矿物是辉钼矿，也叫做硫钼矿(MoS_2)，辉钼矿看外表很像石墨。钼是灰白色的坚硬金属，在高温下有可煅性。金属钼可以和钢制成合金，这种合金非常坚硬耐用。钼和钨的合金可以代替铂用。钼还可以用做X射线管里的对阴极，又能用它制成小细钩子来钩住电灯泡里灼热的钨丝。钼和碳化合生成碳化物MoC_2，硬度极大。

钽——Tantalum（Ta）　原子序数73；原子量180.88。稀有元素。是1802年艾克堡发现的，它的原文名称是取希腊神话里的英雄坦塔拉斯(Tantalus）的名字。钽很容易进行机械加工，化学性质非常稳定，所以能用它制造各种重要的化学仪器和手术用具。钽和碳的合金特别坚硬，是制造切削刀具和钻头的极有价值的合金。在自然界里非常少见，总和铌在一起，也常常和钛在一起。

铁——Ferrum（Fe）　原子序数26；原子量55.85。人类在远古时代就已经知道用铁。铁很容易受氧化，也容易和别的元素化合，所以纯净的铁很难制取。金属铁显钢灰色，有可煅性。铁

是最容易显磁性的金属。含碳的铁(钢含碳0.2%～2%，铸铁含碳2.5%～4%)是20世纪冶金工业的基础。主要的铁矿石有：赤铁矿——Fe_2O_3，磁铁矿——Fe_3O_4，菱铁矿——$FeCO_3$，褐铁矿——$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$。地壳里的含铁量是4.7%，宇宙里的铁还要多。含铁在30%以上的岩石都叫做铁矿石。全世界铁矿石里蕴藏的纯铁是100亿吨。

钷——Illinium (Il)　曾经用这个名称来叫原子序数61的元素。后来关于发现它的事实没有得到证实。参见钷条。

钷——Promethium (Pm)　原子序数61。门捷列夫元素周期表里排在稀土元素中。铀分裂的裂块当中可以分出它的一种寿命比较长的同位素，原子量147。它的半衰期大约近4年。这个名称是纪念神话里的普罗米修斯(Promethus)的。

钚——Cassiopeum (Cp)　有些国家用这个名称来叫元素镥。参见镥条。

铱——Didymium　1841年莫桑德从氧化镧里提出一种粉红色的新氧化物，他相信里面含有新元素，命名叫铱，它的原文意思是“双生子”。1885年奥爱尔又从铱分离得两种元素，分别命名叫钕和镨。参见钕和镨条。

碲——Tellurium (Te)　原子序数52；原子量127.61。是1782年雷亨士坦发现的；1798年克拉普洛特证实了这个发现，给这个新元素取了这个名字；它的拉丁文原意是“土”。碲的化学性质像硫，特别像硒。陶瓷工业上用碲，玻璃着色也用它，汽油里加了碲可以加快汽油在发动机里的燃烧。

碳——Carbon (C)　原子序数6；原子量12.011。人类在远古时代就知道了碳，它的拉丁文名称是指煤炭。在自然界里生成金刚石、石墨、煤和各种碳氢化合物(石油、天然煤气)，有机物里也含碳。但是含碳的主要物质是碳酸盐——石灰石、大理石等等，也有混在水里和空气里的(二氧化碳)。碳的用途：金刚石用来钻凿、切开和琢磨玻璃，也用做装饰品；石墨用做耐火材料

(石墨坩埚)、润滑剂、涂饰铸造机器零件的粘土铸型，制造铅笔、变阻器、电炉的电极；煤和石油用做燃料，是能量的最重要的来源；烟炱用做涂料。把煤加工可以制得许多种化学产品，包括苯胺、药物(阿司匹林、消发灭定)、糖精、炸药(三硝基甲苯)等。

铒——Erbium (Er)　原子序数 68；原子量 167.2。属稀土元素。是 1843 年莫桑德发现的，它的原文名称是采用瑞典的小城“依特比”(Ytterby) 的名字。

铬——Chromium (Cr)　原子序数 24；原子量 52.01。是 1798 年沃开伦分析巴拉斯从乌拉尔运去的铬铅矿而发现的。它的希腊文原意是“颜色”，因为铬的各种化合物显好多种颜色。铬非常脆硬，空气和水对它都没有作用；密度 7.1 克/厘米^3；熔点 1765 摄氏度。自然界里最主要的铬矿是铬铁矿。铬主要用在钢铁工业上。铬钢非常坚硬耐用，可以制造工具、炮筒和枪筒；别种金属镀上铬可以防止腐蚀。

银——Argentum (Ag)　原子序数 47；原子量 107.88。是贵金属。人类在远古时代就知道了银。纯银是白色的，非常柔软。密度 10.5 克/厘米^3；熔点 960.5 摄氏度；性质很像金和铜；在空气里不起变化。延展性非常大。比一切别的金属都更善于导电和传热。在自然界里有游离态的银，也生成硫化物和氯化物。银的合金可以制造日用器皿、装饰品和银币。银的原文名称是从梵文来的，原意是“明亮的”。

铜——Cuprum (Cu)　原子序数 29；原子量 63.54。人类在远古时代就知道用铜。铜的原文名称是用地中海一个叫塞浦路斯 (Cyprus) 的岛的名字，古代那个岛上制造过大量铜器。自然界里铜的主要矿物是硫化物，也有自然铜，但是比较少。铜是有延展性的红色金属。电工业上应用纯净的铜，纯铜特别善于导电和传热。铜可以分别和锡和锌制成合金(青铜和黄铜)，用途很广。

铪——Hafnium (Hf)　原子序数 72；原子量 178.6。虽然

地壳里的铪比金和银都多，而且铪在某些矿物里的含量高达30%，但是直到1923年才由科斯特和海维西发现。这是因为它的化学性质和锆非常近似，很难把铪和锆分开。金属铪非常硬，熔点也高——大约2 200摄氏度。用铪的氧化物制成的合金可以制造电灯丝。铪的重要用途是在无线电工业方面，还可以用它做极好的耐火器材。铪的原文名称是从丹麦首都哥本哈根的旧称(Hafnia)来的。

铷——Rubidium (Rb)　原子序数37；原子量85.48。属碱金属。是1861年本生用光谱分析的方法发现的。它的原文名称是指它光谱里特有的红色光谱线(暗红色)。它的性质很像钠和钾。密度1.52克/厘米³；熔点39摄氏度；沸点696摄氏度。铷是自然界里非常分散的元素；天河石(一种绿色长石)里含铷最多(达0.1%)；光卤石里也含有相当多的铷。铷有放射性，只放出β射线而变成锶。它的半衰期是700亿年。

铱——Iridium (Ir)　原子序数77;原子量192.2。是1803年田南特在铂矿石里发现的。铱的原意是“彩虹的”(它的盐类溶液显各种不同的颜色)。是最重的金属之一(密度为22.4克/厘米³)。硬度特别大，化学性质特别稳定；熔点2454摄氏度。化学性质很像铑。在自然界里总和铂在一起出现。纯净的铱可以制造坩埚、高热电炉和热电偶。铱在制造合金上有很大的用途。

铟——Indium (In)　原子序数49；原子量114.76。是雷赫和利赫特在1863年用光谱分析的方法发现的；铟的光谱里有蓝的光谱线，很像蓝靛(indigo),“铟”的原文名称便是这样得来的。游离态的铟是银白色金属，比铅软。属自然界里稀有的分散元素；还没有发现含铟很多的矿物；但是好多种金属矿石都含有极少量铟的化合物，特别是锌的矿石。铟是制造镜子最好的金属。

铑——Rhodium (Rh)　原子序数45；原子量102.91。属铂族元素。是1803年沃拉斯顿发现的，它的希腊文原意是“粉红色的”，因为它的盐类显粉红色。在自然界里和别的铂族元素

聚在一起，都成游离态。用铂和铑的合金制得的仪器可以测量高温(热电偶)。

铕——Europium（Eu）　原子序数 63；原子量 152.0。属稀土元素。是 1901 年狄马赛发现的。铕的盐类是粉红色的。

铥——Thulium（Tm）　原子序数 69；原子量 169.4。属稀土元素。是 1880 年克利威发现的，原文名称是从斯堪的纳维亚的古称丢耳(Thule）得来的。铥的盐类是绿色的。

铯——Caesium（Cs）　原子序数 55；原子量 132.91。属碱金属。密度 1.87 克/厘米^3；熔点 28.5 摄氏度。它的原文名称是说“天蓝色”，因为它的光谱线是天蓝色的。铯是第一个用光谱分析的方法发现的元素(是本生在 1860 年发现的)。铯的火焰显紫色。到现在为止，铯的矿物只知道有一种——铯榴石。铯用做光电管里的主要成分。

锑——Stibium（Sb）　原子序数 51；原子量 121.76。古代的人已经知道它；游离态的锑到 15 世纪才由瓦伦汀制得。它的俄文名称是从土耳其文来的，原意是“摩擦”。锑是非常脆的金属。自然界里有锑和硫的化合物。铅字合金里含锑，医药上也用锑；铅里加锑可以大大增加铅的硬度，制造铅字合金和子弹就用加锑的铅。火柴工业、橡胶工业和玻璃工业都用到锑的化合物。

铝——Aluminum（Al）　原子序数 13；原子量 26.98。在地壳里分布很广，只比氧和硅少。占地壳总量的 7.5%。是很轻的银白色金属。粘土、长石、云母以及别的好多种矿物都含有铝。铝在自然界里主要集中在铝硅酸盐里，这种盐是含铝、硅、氧和另一些金属的矿物。铝土含铝特别多，铝土的主要成分是含水的氧化铝。铝主要是从铝土里提炼出来的，也可以从霞石里提取。在飞机制造业上广泛地应用铝的合金。味勒在 1827 年制得了纯态的铝。铝的原文名称是指明矾。

钡——Barium（Ba）　原子序数 56；原子量 137.36。是 1774 年舍勒发现的；1808 年台维析出了纯态的钡。这个元素的

原文名称是从重晶石(barite)这种矿物得来的，钡就是从重晶石里提炼出来的。是银白色金属，和铅一样硬，它的火焰显特有的黄绿色。钡的盐类用做优良的白色颜料。

铅——Glucinium (Gl)　见铍条。

锌——Zinc (Zn)　原子序数 30；原子量 65.38。锌是 16 世纪巴拉塞尔士发现的。它的原文名称是说“白色的薄层”(因为锌的盐类是白色的)。锌是灰白色的金属，水和空气很难对它起作用。自然界里主要的锌矿是闪锌矿(ZnS)。锌可以镀铁(锌镀铁或白铁)，也可以和铜做成合金(黄铜)。白色的锌盐可以用做颜料，医药上也要用到。

锔——Curium (Cm)　原子序数 96。1944 年用人工方法制得。现在知道锔有 8 种同位素。寿命最长的一种同位素原子量 245。它的半衰期在 500 年以上。锔的化学性质和稀土元素相似。这个名称是纪念居里夫妇和约里奥·居里夫妇的。

锆——Zirconium (Zr)　原子序数 40；原子量 91.22。是 1789 年克拉普洛特发现的，它的原文名称是从风信子石(Zircon)得来的。二氧化锆很难熔化，到 3000 摄氏度才变成液体，而且化学性质特别稳定。所以锆用来制造很好的耐火材料。铸铁里加锆可以提高铸件的品质。锆在自然界里生成风信子石和一些复杂的硅酸盐。

锂——Lithium (Li)　原子序数 3；原子量 6.940。是最轻的金属。是 1817 年阿尔费德逊发现的；它的原意是“石头”。属碱金属，化学性质非常活泼，很像钾和钠。锂比水轻(密度 0.534 克/厘米^3)。锂的盐类的火焰显鲜红色。锂在自然界里只有化合态；许多矿泉里含有极少量的锂。用在制造潜水艇用的蓄电池、制造特种合金和焊接铝制品上。

铽——Terbium (Tb)　原子序数 65；原子量 159.2。属稀土元素。是在 1843 年由莫桑德发现的。它的原文名称是从瑞典的小城“依特比”(Ytterby)的名字得来的，稀土矿最初就是在这

里发现的。

锇——Osmium（Os）　原子序数76；原子量190.2。属铂族元素。是1803年田南特发现的，锇的希腊文原意是“有臭味的”，因为锇酐的蒸气发出烂萝卜的臭味。是不活泼的元素，化学性质非常稳定。密度22.48克/厘米³，是地球上最重的物质之一。熔点2 500摄氏度。在自然界里成游离态和铂在一起。锇和铱的合金特别坚硬，可以用做自来水笔的笔尖。

鿏——Virginium（Vi）　这是阿里逊给原子序数87的元素起的名字。发现这个元素的事实还没有证实。参见钫条。

锡——Stannum（Sn）　原子序数50；原子量118.70。锡是人类最早知道的元素之一，在远古时代（青铜器时代）就已经知道。游离态的锡是银白色金属，延展性很大；密度7.28克/厘米³；熔点232摄氏度。锡在18摄氏度以下变成一种灰色的同素异形体。弯曲锡棒的时候发出一种特有的劈裂声，这可能是由于锡的各个晶体互相摩擦出声的缘故。锡不受水和空气的作用；所以广泛地用它镀铁（就是所谓马口铁，主要用途是制造罐头）。锡的合金，像巴弼合金和青铜都是很有价值的。自然界里主要的锡矿石是锡石（SnO_2）。

锫——Berkelium（Bk）　原子序数97。这个元素是用人工方法冲击原子量241的镅的同位素制得的。到现在为止所得到的锫的同位素的半衰期不超过几小时。它的原文名称是从美国加利福尼亚的贝尔克利城（Berkeley）得来的。

锕——Actinium（Ac）　原子序数89；原子量227。是1899年狄比尔恩从沥青铀矿里发现的。锕是铀蜕变以后的生成物，有放射性，半衰期是20年。锕继续蜕变就生成一系列放射性元素，叫做锕系。锕系蜕变的最后生成物是原子量207的非放射性元素铅。科学家对于锕和它的化合物还没有很好地研究。

锕系元素　周期表上跟在锕后面的元素，组成化学性质很相近似的一族。这一族也像稀土或镧系元素那样，应该有15种元

素：从89号到103号；里面有11种已经发现或者用人工方法制得：锕、钍、镤、铀、镎、钚、镅、锔、锫、锎、锿、镄、钔、锘、铹。头3种在自然界里可以找到。这一族元素总称锕系元素。锕系元素的化学性质都跟镧系元素相像，在门捷列夫元素周期表里占据第三类里在稀土下面的一格。

锰——Manganese（Mn） 原子序数25；原子量54.93。是1774年舍勒从软锰矿里发现的(软锰矿是天然的二氧化锰，像黑色的苦土或美格尼西亚土，锰就是这样得名的)。是坚硬的银白色金属，在自然界里分布非常广，在海洋沉积物里生成软锰矿层。冶金工业上用锰来改良钢的品质，颜料工业以及许多别种化学工业上也用到锰。

铼——Rhenium（Re） 原子序数75；原子量186.31。是最分散的元素之一，1925年，诺达克夫妇才发现它。这个名称是为了纪念莱茵河(Rhine)而起的。门捷列夫早已预言了它的性质，叫它做亚锰。金属铼的外观很像铂。它是最重而又最难熔化的元素之一。它在电工业上很有用，因为用铼造的电灯丝比用钨造的更经久耐用。也可以用它制造合金。在自然界里，辉钼矿里所含的铼不超过$1/10^7$。

锝——Technetium（Tc） 原子序数43。锝是第一个用人工方法制得的元素。1937年佩列和西格利用氘子——重氢原子核冲击钼而制得的。现在已经知道的同位素有17种。寿命最长的一种同位素原子量99。化学性质像铼和锰。它的希腊文原意是“人造的”，因为这个元素是用人工方法制取的第一个元素。它的性质和门捷列夫预言的完全一致，门捷列夫原来把它叫做类锰。

磷——Phosphorus（P） 原子序数15；原子量30.975。它的希腊文原意是“带光的”，因为它能在暗处发光。是布兰德在1669年发现的。密度1.83克/厘米^3；熔点44摄氏度；沸点280.5摄氏度。磷有几种同素异形体：黄磷与红磷，1914年布列治曼制得了黑磷。磷酸盐在地壳里分布很广，生成许多种矿

物：磷灰石、土耳其玉，还有铁和铜的磷酸盐等等。制造火柴、烟幕、引火物质等都用磷。纤核磷灰石和磷灰石是制造磷肥的极重要的原料。

锶——Strontium（Sr） 原子序数 38；原子量 87.63。属碱土金属。是 1790 年格林福德发现的。锶是银白色的金属，化学性质非常活泼，所以它在自然界里只有化合态。锶的火焰显红色。烟火工业和制糖工业上用到它。

锗——Germanium（Ge） 原子序数 32；原子量 72.60。门捷列夫曾经预言过它的性质(类硅)。它是 1886 年文克尔用光谱分析的方法发现的。它的性质既像金属，又像非金属。它是最稀有的元素之一，用途非常有限，在无线电工业上用做荧光物质，制造特种玻璃也用到它。

镁——Magnesium（Mg） 原子序数 12；原子量 24.32。是 1808 年台维用电解法发现的。它的原文名称是从一种叫苦土的矿物的名称得来的，苦土的原名叫美格尼西亚白土(美格尼西亚是希腊的一处地名)。属碱土金属。在自然界里分布很广：占地壳重量的 2.5%；有些岩石含镁的碳酸盐和硅酸盐。海水里含有大量可溶性的镁盐。很轻(密度 1.74 克/厘米^3)，有延展性，化学性质非常活泼，然而在合金里却很稳定。近年来航空工业上用得很多，用的是镁和铝的合金。

镅——Americium（Am） 原子序数 95；最稳定的、半衰期大约 10 000 年的一种同位素原子量 243。1944 年用 α 粒子冲击铀的时候制得这种元素。现在已经知道的同位素有 5 种。它的化学性质很像稀土元素。

钨——Wolfram（W） 原子序数 74；原子量 183.92。是 1783 年舍勒在黑钨矿里发现的；到 1850 年，味勒才制得纯态的钨。钨是银白色的重金属(密度 19.1 克/厘米^3)，熔点很高(3370 摄氏度)。它不受氧化，除去王水以外，不溶解在任何别的酸里。耐高温，用来制造电灯泡里的丝、高速切削钢和几种超硬质

合金，叫“伯别基特”、“维季阿”、“卡尔博洛依”。伯别基特差不多和金刚石一样硬，可以用它钻最坚硬的岩石。因为钨可以拉到只有1/ 100毫米粗的细丝，所以可以用来制造灯丝。钨还可以制造化学器皿，可以制造电器上的接触子，代替比它贵的铂。

镍——Nickel（Ni） 原子序数28；原子量58.69。镍的原文名称是从“红砷镍矿”(Coppernickel)得来的，这种矿物的原文名称是“不中用的铜”的意思。是1751年克隆施泰特发现的。镍是相当坚硬的银白色金属，熔点1455摄氏度。自然界里的镍或者生成硫化物，或者生成硅酸盐的矿石。镍的用途很广，像镀镍、制造特种钢和用做催化剂。

镉——Cadmium（Cd） 原子序数48，原子量112.41。银白色金属。是1817年斯特罗迈耶发现的，它的希腊文原意是指一种锌的矿石。镉的性质非常像锌，并且在自然界里总和锌聚在一起。用来代替锌镀在铁上，加在铜里使制成的铜线坚固耐用，制造熔点低的合金，制造黄色颜料。

镓——Gallium（Ga） 原子序数31；原子量69.72。它是门捷列夫预言过性质的元素之一(类铝)。是在1875年布阿波德朗用光谱分析的方法发现的，为了纪念法国才用这个名字，因为法国的古名叫高卢(Gaul)。镓是柔软的银白色金属，熔点非常低，只有29.8摄氏度(拿在手里就能熔化)，但是沸点竟高到2300摄氏度，固体的镓比液体的轻，所以镓的固体能漂在自己的液体上面。镓属于稀有的分散元素；用镓制成的温度计能测量高温，镓又是荧光物质的成分。制造光学镜子也能用镓。

钨——Masurium（Ma） 1924年有消息说发现了原子序数43的元素。这次发现的事实现在没有得到确认。参见锝条。

镏[1]——Lutetium（Lu） 原子序数71；原子量174.99。属稀土元素。是乌尔班在法国和奥爱尔在德国同时发现的。乌尔班

[1] 71号元素现中文名为镥(Lu)。——编辑注

叫它做镏，这个名称是从巴黎的古名得来的，奥爱尔叫它做钚。文献上两个名称并用，我们现在采用镏这个名称。

镎——Neptunium（Np） 原子序数93。是第一种超铀元素，1940年用中子冲击铀而制得的。是放射性元素。现在已经知道有12种同位素，寿命最长的一种同位素原子量237，半衰期是220万年。它的化学性质和铀近似。镎的原文名称是从海王星(Neptune）得来的。自然界里也发现有极少量的镎。

镝——Dysprosium（Dy） 原子序数66；原子量162.46。属稀土元素。是1886年布阿波德朗发现的。它的希腊文原意是指“难以到手”。

类硅 见锗条。

类硼 见钪条。

类碘 见砹条。

类铯 见钫条。

类铝 见镓条。

类锰 见锝条。

镤——Protactinium（Pa） 原子序数91；原子量231。放射性元素。是1917年哈恩和梅特纳发现的。1927年，格罗斯析出了1/100克游离态的镤。是银白色金属。它的希腊文原意是“第一条射线”。在自然界里和铀聚在一起，是铀蜕变的生成物之一。半衰期是3200年。

镨——Praseodymium（Pr） 原子序数59；原子量140.92。属稀土元素。是1885年奥爱尔发现钕时发现的。它的希腊文原意是“绿色的双生子”。它的盐类显绿色。

锎——Californium（Cf） 原子序数98。用α粒子冲击原子量242的一种锔的同位素制得的。原子量246的一种同位素的半衰期是35小时。它的原文名称是由美国加利福尼亚州(California）得来的。

镭——Radium（Ra） 原子序数88；原子量226.05。属放

射性元素的铀系，是居里夫妇在 1898 年从沥青铀矿里发现的。它的原文名称是指“光线”。镭是银色的金属，能在常温下使水分解。它的化学性质非常像钡，所以镭的盐类很难和钡的盐类分开。镭的最显著的性质就是有很强的放射性，比铀的放射性强好几百万倍。镭放出 α 射线、β 射线和 γ 射线。镭的盐类在暗处会发光；镭的射线除去能够对照相底板作用以外，还能引起许多种化学反应，又能破坏动物体和杀死细菌。特别叫人惊异的是镭可以不停地放出大量的能量。镭的半衰期是 1580 年。医疗上用镭医治癌症和狼疮。

镱——Ytterbium（Yb） 原子序数 70；原子量 173.04。属稀土元素。是 1878 年玛林那克发现的，他断定在元素铒里还含有一种“新稀土元素”。镱的原文名称是采用瑞典小城“依特比”（Ytterby）的名字。

镧——Lanthanum（La） 原子序数 57，原子量 138.92。属稀土元素。是 1839 年莫桑德发现的，它的希腊文原意是“隐藏”。它的合金用做打火机里的“火石”。

镧系元素 见稀土元素条。

名词注释

乙炔 水和碳化钙起作用而生成的气体。燃烧的时候发出明亮的白光；广泛地用来焊接和截断金属。

二水钒铜矿 一种橄榄绿色的稀有矿物，含铜和钒；是某些矿床经过表面风化以后生成的。

二叠纪 古生代里的最后一个纪，在这以前是石炭纪。二叠纪的地层在俄国从前的彼尔姆省地区形成得最完备，有关二叠纪的知识最先是在这个地区里得到的，所以二叠纪的原文名称就是

这个省的名字。

土耳其玉　也叫绿松石或铜铝磷石，一种不透明的矿物，呈美丽的蓝色和浅蓝绿色，光泽暗淡，成分是铜和铝的磷酸盐。用做装饰品。

土状萤石　见萤石条。

土壤　覆在地球表面上的生成物，成因是岩石受到水和空气的破坏作用，就是所谓风化作用以及动植物的各种生活作用。

土壤学　一门科学，研究土壤的生成和变化，研究土壤变得肥沃的过程，并研究为了提高作物的收获量而对土壤进行作用的方法。

大气圈　地球的气态外壳。现代知道大气圈可以分成3层：从里到外依次是对流层、平流层和电离层。

大理岩　细粒的或中等晶粒的石灰岩和白云岩的总称，这类岩石都可以磨光。大理岩有各种各样的颜色和花纹。它在建筑上、技术上和装饰上都是很有价值的重要材料。雪白的和粉红色的大理岩可以雕刻。

工作面　矿的开采面，从这里直接开采出矿产来。

中子　一种基本粒子，不带任何电荷；质量跟质子的质量相等。化学元素的原子量就等于原子里质子数和中子数的和。中子和质子组成原子核。

丹粉　天然出产的或人造的研磨料，用来磨光金属、光学玻璃和别种玻璃，磨光细工用的和装饰用的石头。

元素的迁移　化学元素在地壳里的移动和改变分布的情况。由于元素的迁移，某种元素在一些地区里会分散开来，在另一些地区里会集中起来。

分子　物质分到不失去这种物质的物理性质和化学性质的最小粒子。分子是由原子组成的，一个分子里的原子数，少的只有一个(例如惰性气体)，多的可以有几千个(例如蛋白质)。

分光镜　研究光谱的仪器。

天体物理学　天文学的一个分支，研究天体和星际物质的物理状态和化学成分。

天青石　一种矿物，成分是硫酸锶($SrSO_4$)，显美丽的天青色。用途是制取各种锶盐。

天狼星　大犬星座里的α-星，是天空中最亮的星。天狼星是由两个恒星组成的（"双星"）。天狼星的伴星只有用望远镜才看得见，因为这个伴星的亮度是天狼星的1/3000。

天然盐水　溶解着大量盐类的水，盐类在这种水里的溶解量超过在海水里的含量；有些没有出口的海和湖经常进行着猛烈的蒸发，结果就生成天然盐水。

文石　也叫霰石，一种矿物，化学成分跟方解石一样($CaCO_3$)，但是原子的排列和别的物理性质都跟方解石不同。文石有白色的、黄色的、绿色的和紫色的。文石的特征是生成致密的球状鱼卵石，也有生成许多种泉华形状的——从山洞顶部下垂的钟乳石以及从洞底迎着钟乳石往上长的石笋。文石通常是在热溶液和冷溶液里生成的。

文象花岗岩　正长石和石英相伴生成的岩石，生成的过程有一定的规律，生成的形状类似古代的楔形文字，故称做文象结构。

方解石　白色的、无色的或稍带别的颜色的矿物，成分是碳酸钙($CaCO_3$)，常常混有各种杂质。方解石能生成多种形状：极美丽的晶体，呈粒状和致密的块状、泉华片状、钟乳石、石笋。完全透明的方解石叫冰洲石，隔着它看物体，能看到两个像。有几种岩石，例如大理岩、石灰岩和白华岩，完全或者几乎完全是由方解石构成的。

方铅矿　一种银灰色光泽的矿物，成分是硫化铅(PbS)，铅的含量达到86%。方铅矿里经常混杂着银，因而方铅矿通常也是有价值的银矿石。方铅矿的用途是制造铅丹，提炼铅，制造铅白和釉药，还用在无线电技术方面。

日珥　凸出在太阳表面上的物质，是一些炽热的气体，主要

是钙和氢。在日全蚀的时候可以看得很清楚，形状像从太阳表面的边缘喷射和爆发出来的火热的物质。不在日蚀的时候，就一定要用分光镜才能看见它。

月长石　产在白海地区的伟晶岩脉里，也叫做白海石，是钠长石的一种。

木化石　也叫硅化木，显木纹构造的玉髓、石英和蛋白石。

气压计　希腊文的原意指"测量重力"，是气象学上测量大气压力所用的仪器。气压计有汞气压计和金属气压计(无液气压计)两种。

水成论　认为一切岩石(连火成岩在内)都是由水里的沉积物生成的一种学说，在18世纪末和19世纪初，这个学说在地质学家当中非常流行。

水泥　石灰石和粘土混合煅烧以后的生成物。水泥加水搅拌，就会凝成像石头一样坚硬的块状。现在水泥的产量很大，是一种建筑材料。

水晶　一种透明的石英。在自然界里生成美丽的六角柱晶体。用在无线电技术上。

水褐铜矾　一种非常稀少的矿物，也叫做维尔纳茨基石，属碱式含水硫酸铜类。发现于维苏威火山口。

火成岩　见岩浆岩条。

火成论　流行在18世纪末的一种学说，认为一切岩石都是受了地下热的作用而生成的。

火流星　天空里的发光现象，像一个火球在天空飞行，是由流星体从行星际空间侵入地球的大气圈里引起的。

片麻岩　变质的片状岩石，成分跟花岗岩相似。用做建筑材料。

半衰期　在物理学上，放射性元素原子的分量分裂到原来的一半所需要的时间叫做半衰期。每一种放射性元素都有固定的半衰期。半衰期短的不到1秒，长的达到百十亿年。

克拉　宝石的质量单位，等于200毫克。1克等于5克拉。

卡斯巴石　从捷克斯洛伐克卡斯巴地方的温泉里沉淀出来的碳酸钙，性质坚硬(参看文石条)。

卡路里　热量的单位，简称卡。使1千克水的温度升高1摄氏度所需要的热量叫做1大卡；使1克水的温度升高1摄氏度所需要的热量叫做1小卡，也就是通常所说的卡。

去氧剂　含在液态的钢里的杂质烧掉以后，为了使熔在钢里的氧化亚铁还原而加进去的一种材料——含有氧化亚铁的钢在煅打的时候容易折断。去氧剂通常含有碳、锰和硅这3种元素，都能使氧化亚铁还原成铁。

四面体　有4个面的立体，每面都是一个三角形。

古生代　地质史上很早的一个年代。包括5个纪：寒武纪，志留纪，泥盆纪，石炭纪，二叠纪。在古生代里产出的矿物极多。

尼禄(37～68)　罗马皇帝。

平窿　水平的或稍稍倾斜的矿山坑道，坑道一端露出地面。平窿的横截面有梯形的、椭圆形的或圆形的。

巨砾　岩石的碎块，主要是花岗岩、石英岩和石灰岩等等的碎块，直径从10厘米到10米，也有更大的。岩石的风化作用和冰川作用都能生成巨砾。巨砾可以铺路，可以用做混凝土里的碎石子；大的巨砾可以用做纪念碑的台座。

正长石　见长石条。

正长岩　一种浅色的结晶的火成岩，主要成分是长石和普通角闪石。和花岗岩不同的地方是不含石英。原文名称是埃及的一个城市的名字，叫做西也那。

正离子　见离子条。

玄武岩　黑色或黑绿色的火成岩，有时候熔融的玄武岩从地底下喷出到地球表面或水底下。里面的矿物含有多量的镁和铁。玄武岩呈六角柱状的劈理。

玄武岩底基　根据一些现代岩石学家的意见，玄武岩是最初

的母岩浆，这种岩浆在坚硬的地壳下面形成玄武岩层。

玉髓　是一种隐晶质的、纤维结构的石英，颜色各种各样都有。常生成结核块状和泉华状。半透明，能微微透光。可以制造技术上应用的物品，还可以用做次等宝石和细工材料。带状的玉髓叫玛瑙。

甲苯　从煤焦油和炼焦炉的气体里得到的一种化合物。是制造糖精的主要原料；又可以用来制造染料。硝化以后可以生成三硝基甲苯——一种重要的炸药。

白垩岩　一种有机生成的沉积岩，是白色柔软的细土状物。是由极小的贝类聚集成的，主要成分是碳酸钙。用在玻璃工业、水泥工业、橡胶工业、造纸工业和染料工业上，还可以用来制造粉笔等等。

白垩纪　在地壳生成史上是中生代的最后一个纪。又可以细分做下白垩和上白垩两个世。白垩纪的海底沉积物的特点是，能够书写的白垩堆聚成了极厚的地层。

白云母　见云母条。

白云石　一种白色、灰色或微带别种颜色的矿物，成分是钙和镁的碳酸盐。$CaCO_3$ 的含量是 54%，$MgCO_3$ 的含量是 44%。

白云岩　是坚硬的沉积岩，主要成分是粒状的白云石。在不同的地质年代的海水里都有白云岩沉积。可以用做耐火材料，用做鼓风炉里的熔剂，还可以用在化学工业上和建筑上。

白榴石　一种白色或浅灰色的矿物，属硅酸盐类，含有铝和钾。常生成球状的二十四面体。是某几种喷出岩中常见的成分。现在科学家正设法从白榴石里提出钾和铝来。

白钨矿　一种不透明的浅灰黄色矿物，有脂肪光泽，成分是钨酸钙($CaWO_4$)。受到紫外线照射的时候能发射出美丽的浅蓝绿色光线。用途是提炼钨——在冶金上极重要的一种元素。

石灰岩　白色、灰色和杂色的沉积岩，成分是碳酸钙($CaCO_3$)，常常是由生物骨骼和贝壳的残骸聚集成的。在地壳里分布很广，

能生成极厚的岩层。在建筑、制造水泥、化学工业、冶金工业、农业和国民经济的别的部门上都有用途。

石油 也叫做**液态沥青**，是一种褐色的、暗绿色的或黑色的液体，接近无色的非常少见，气味很像煤油，因此很容易根据臭味来辨认。石油的主要成分是碳和氢，这两种元素生成烃一类极其多样的化合物。石油成层状或鸡窝状渗透在疏松的或多孔的沉积岩里面。石油在国民经济的各个部门里都起着极其重大的作用，主要是用做燃料。在炼油厂里经过加工以后，可以得到各种有价值的产物，例如汽油、煤油、润滑油、沥青、炸药和好多种别的产物。

石英 无色、白色或多种颜色的矿物，性质坚硬，成分是二氧化硅(SiO_2)。石英是好多种岩石的重要成分；是地壳里分布最广的矿物之一。石英常常生成极美丽的晶体，也生成粒状和致密的块。石英的变种很多：有透明的水晶、紫水晶、烟晶、黄水晶；微透明的有乳色和灰色等的黑晶；不透明的有普通白色的石英和含铁的石英等等。石英在好多种工业部门里都得到广泛的应用，可用来制造物理仪器和光学仪器，还用在精密的器械上和无线电技术上，用在玻璃和陶瓷工业上等等；还可以用做宝石和细工材料。

石棉 许多种细纤维状矿物的统称，成分是镁的硅酸盐。石棉纤维的长度可以达到 5 厘米或者更长。石棉用来制造不燃性的织物，用做热和电的绝缘衬垫物，在建筑上还用做贵重的耐火材料等等。

石笋 在地下山洞或坑道的底上生成的泉华，是含有大量碳酸盐的水滴从上面滴下来而生成的。石笋会在洞里的地面上逐渐地长高起来。

石膏 一种矿物，也能生成单矿沉积岩，有白色的，也有略带别种颜色的。化学成分是 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$。石膏在自然界里分布极广，在建筑上、装饰上、塑造上以及水泥的制造上都用得很

多；在医药上可以用做外科的绷扎材料；在农业上可以用来改良土壤。石膏的变种——雪花石膏和透石膏都可以用做细工材料。

石榴石类　一群矿物的统称(属硅酸盐类)，变种极多，分布极广；这矿物颜色有各种各样，都有脂肪和玻璃光泽，硬度很大。有几种石榴石可以用做装饰品，还可以用做研磨料。

石制的细工制品　用宝石和有彩色的石头制成的细小制品和装饰品。

石墨　单质碳的一种，是一种柔软的矿物，用手去摸有滑腻的感觉，能留下痕迹，颜色从黑色到钢灰色。熔点在 3000 摄氏度以上，能耐酸耐碱。在金属铸造上用来制造熔炼金属的坩埚，还可以用来制造电极、干电池、颜料和铅笔等等。

电子　带负电的基本粒子。是原子的组成部分。电子在原子里顺着一定的轨道绕着带正电的原子核旋转。元素的原子里的电子数，等于这种元素的原子序数。

电子显微镜　最新式的显微镜，不用光线而用电子流，所以能把要观察的东西放大到 50 万倍。

电气石　成分非常复杂而又不固定的一种矿物，含碱金属、钙、铁、镁等等的铝硼硅酸盐。颜色也有各种各样的。有不少变种。可以用做宝石，还可以用做热电材料和压电材料。

电流计　灵敏度很高的一种测量电流的仪器。

电离　某种介质的中性粒子(分子、原子)变成带正电荷或负电荷的粒子——变成离子——的作用。

电磁波　电场和磁场的周期性的振动。无线电波、光线、X 射线和 γ 射线——这一切都是电磁波。

光卤石　一种透明的浅红色矿物。成分是含水的钾和镁的氯化物。光卤石能吸收水分，因而会在空气里潮解。光卤石是制造钾肥和提炼金属镁的矿物。

光谱分析　研究某种复杂物质的光谱来测定这种物质的化学成分的方法。这种方法非常灵敏。

冰川　天然堆聚的冰块，由于自身的重力作用而像河流似的沿着山坡或山谷缓慢地向下移动。冰川在移动的路上破坏河床，磨平河底突起的地方，冻在冰块里的碎石块也随着冰川的移动磨损着这些地方，这样，冰川就会把大量的碎石块和巨大的圆砾(冰碛)等等搬运到很远的地方堆聚。山地的冰川一流到山谷解冻的地方，就开始变成汹涌的河流。

冰洲石　见方解石条。

冰晶石　一种非常稀有的雪白的矿物，成分是铝和钠的氟化物 Na_3AlF_6。熔融的冰晶石可以溶解氧化铝，用于金属铝的电解上，在玻璃工业和陶瓷工业中也用到冰晶石。现在已经能用人工方法制取。

压延　根据金属的受范性来用压力对它进行加工的主要方法之一。热的和冷的金属都可以压延，但是大部分金属都是在热的状况下进行压延的。

同位素　同一种化学元素的原子量不同的原子，原子的质量数不同，但是原子核的电荷都一样，所以在门捷列夫周期表里占着同一个位置。

地球物理学　一门综合性的科学，内容是研究地球的物理性质和在地球内部进行的物理变化。

地壳　就是岩石圈，地球外部坚硬的壳，理论上地壳的厚度从地球表面算起一共只有 15 ～ 17 公里。但是有些科学家认为地壳厚达 60 公里。

地质时代　地质年代上最大的时间单位，每一个时代相当于地质史上的一个界。地质时代有 4 个：太古代、古生代、中生代、新生代。

地震学　研究地震的科学。

地震仪　也叫做地震计，是记录和测量地球内部和建筑物里的震动的仪器，这种震动是由于地震、爆炸、运输的作用、工厂机器的开动和别的原因引起的。

地沥青 一种浅褐色或浅黑色的坚硬的沥青，通常氧化了的石油一变硬就生成地沥青。在 70 ～ 110 摄氏度的温度下变软，温度再高就熔化。地沥青有天然的和人造的。

多金属矿石 含有几种金属的矿石，最常见的是同时含有铜、锌、铅和银的多金属矿石。

宇宙速度 天体在行星际空间的运动速度；宇宙速度比现在所知道的地球上各种物体的运动速度都大好多倍。

宇宙射线 从宇宙空间射进地球大气圈的一种射线；有大量的能，因而穿透力特别强。宇宙射线的本质到现在还没有得到肯定的解释。

有孔虫 原生动物里的一类单细胞动物，有外壳，壳的主要成分是碳酸钙($CaCO_3$)，各个地质时代的海水沉积物里都有这种动物；有几种有孔虫可以用来测定岩石的地质年龄。

次生矿物 在矿床里接近地球表面的地方，原生矿物由于受到地下水和空气里的氧气的作用而生成的矿物。

乔尔可夫斯基(1857 ～ 1937) 俄罗斯杰出的科学家，自学成才的发明家，用毕生的精力研究火箭航空，他在这方面有很多科学创造。

老普林尼(24 ～ 79) 罗马科学家。在维苏威火山爆发的时候死去。他写了一部独特的百科全书，叫做“博物学”，一共有 36 卷，一直流传到今天；这部书除了生物学、植物学和医学方面的记述以外，还包括宇宙志、矿物学甚至艺术史方面的记述。

肉红玉髓 红色玉髓的旧名称，颜色从浅到深，也有红棕色到褐色的。

似曜岩类 一类熔化过的小玻璃块，曾经在地球上许多地方找到过。似曜岩类的成因到现在还没有得到充分的解释。有人认为它们是陨石。

γ射线 波长极短的电磁波。镭和另外一些放射性元素的原子在蜕变的时候产生 γ 射线。它很像 X 射线，但是穿透力比X

射线强。

克利奥佩特拉　最后一个埃及女皇（公元前69～前30）。

利比喜（1803～1873）　19世纪最伟大的化学家之一。农业化学和土壤学的创始人。他对有机化学的贡献非常大。

希罗多德（公元前484～前425左右）古希腊历史学家，后人称他做“历史学之父”。他写过“希腊波斯战争史”，但是没有写完。

成因　也就是起源。矿物学上关于成因的学说（矿物起源的学说），目的是确定矿物生成的作用和条件，并且研究矿物生成以后的变化。

沃开伦（1763～1829）　法国化学家。1797年，他在西伯利亚的红色铅矿石里发现了铬。同年又在绿柱石里发现了一种金属氧化物，这种金属是以前所不知道的，就是铍。他在有机生成的矿物质方面研究得很多。

沉积岩　矿物质受了重力的作用成层地沉积而成的岩石，大部分是从水里沉淀出来的，例如石灰岩和砂岩等都是。

沙　细小松散的石粒，是各种矿物（石英、长石等）的圆的或棱角的颗粒，大的有2毫米，小的只有0.02毫米。沙是岩石经过崩坏、漂移、沉积等作用而生成的。采集沙的目的非常多。根据它在技术上的用途可以分成许多种：建筑用沙，玻璃用沙，铸型用沙，研磨用沙，过滤用沙等等。

角砾云母橄榄岩　颜色深得发黑的一种火成岩，主要成分是橄榄石、褐色的云母和辉石，形成于火山爆发的时候巨大的漏斗状火山口中；在南非洲和美洲，角砾云母橄榄岩里含有金刚石晶体。

辛烷值　测定液体燃料抗震性能的一种单位。把异辛烷的辛烷值定做100，把抗震性极大的庚烷的辛烷值定做0；差不多一切别的液体燃料的辛烷值都在100和0之间。

辰砂　一种金刚石光泽的红色矿物。成分是硫化汞。辰砂是

主要的汞矿石。

过磷酸石灰　一种矿物肥料，主要是硫酸钙和酸式磷酸钙的混合物。过磷酸石灰是应用极广的肥料。

亚哥船上的勇士　古希腊传说里的英雄，他们乘着亚哥船在约孙指挥下到科尔希达(现在的南高加索)去寻找金羊毛。关于亚哥船勇士的神话，反映着希腊初期的殖民史(公元前 8 ～ 6 世纪)

亚里斯多德(公元前 384 ～前 322)　古希腊伟大的哲学家。他的著述概括了当时的每一门知识：逻辑学、心理学、自然科学、历史学、政治学、伦理学、美学。他的著述一种也没有流传下来，现在只能看到古代作者的著述里引证他的一些文句。

变质作用　见变质岩条。

变质岩　火成岩或沉积岩生成以后在矿物成分、化学成分和结构方面起了变化(变质作用)的一种岩石；有深成变质岩(结晶页岩、云母页岩、片麻岩等)；有接触变质岩(角页岩、电气石页岩等)；还有局部再熔化而生成的变质岩。

奈普统　古罗马神话里的水神、河神和雨神。后来由于海外贸易发达，奈普统就逐渐专指海神，成了海员的保护神。

居里夫人(1867 ～ 1934)　杰出的科学家，放射性物质学说的创始人之一，索本(法国)大学的第一个女教授。她发现了钋和镭(1896 年)。

岩石　天然的矿物聚集，由于共同的生成作用而结合在一起，成分和结构或多或少是固定的。根据成因，岩石可以分为岩浆岩(火成岩)、沉积岩和变质岩 3 类。

岩石学　地质学的一个分支，是研究岩石的成分和结构的一门科学。

岩石圈　见地壳条。

岩脉　岩石里的裂缝，里面填充着某些矿物，这些矿物是从岩浆、热溶液或冷溶液里结晶出来的。

岩盖　岩浆岩侵人地壳的一种形状，常形成大块凸起的物

体，或者像圆面包，或者像蘑菇的盖。岩浆没有到达地面就在地下凝固，这时候岩浆上方的地层就弯成穹窿状，这就是岩盖的成因。岩盖上方的沉积岩受到风化和侵蚀以后，岩盖就会露出地面而形成小山，例如别什套山、马舒克山(北高加索)和阿尤达格山(克里木)等等都是。

岩浆　希腊文的原意是指“面团”，是坚硬的地壳下面火热的液态熔化物。化学成分是各种复杂的硅酸盐。岩浆随着温度、压力和别种因素的变化而分布在不同的地区里，这些地区里岩浆的成分各不相同，每个地区里的岩浆凝固以后都生成一种特别的岩石。

岩浆岩　也叫做火成岩，是熔化的岩浆在冷却凝固以后生成的各种岩石。岩浆岩有深成岩和喷出岩两类：深成岩是在地下深处凝成的(花岗岩、橄榄岩、辉长岩等等)；喷出岩是岩浆喷到地面上来以后凝成的，例如火山爆发的时候从火山口里喷出来凝成的岩石就是(安山岩、玄武岩、流纹岩等等)。

岩盐　成分是氯化钠($NaCl$)(含钠 39.39%，氯 60.61%)。有咸味。可以食用，所以也叫做食盐。大家知道，食盐放在潮湿的空气里就发潮，这是因为食盐里含有杂质。岩盐是早在过去地质年代的海底和湖底生成的。现在岩盐夹在岩石的内部形成了致密的岩层。此外，食盐也有沉积在地球表面上的，主要是沉积在草原地带和沙漠地带，这就是所谓白霜，是薄膜状的和层状的。

拉瓦锡(1743～1794)　法国的大化学家。他绘制了法国的矿物分布图，因而当选为法国科学院院士。

拉长石　属于长石群的一种矿物，呈浅灰蓝色或黑色，有美丽的虹彩，很像孔雀的羽毛。

拉长石岩　一种混合结晶岩，主要成分是拉长石。是很好的建筑材料和装饰用的石头。

彼尔姆海　二叠纪里的一个海。

升华　物质由结晶状态直接变成气态(不经过熔化)的作用。

明矾石　白色或红褐色的矿物，是天然的硫酸铝钾。

易裂钙铁辉石　透辉石的一种，成分是石灰质的铁的硅酸盐，颜色是暗色的和暗绿色的，产在贝加尔湖，所以也叫做贝加尔石。

果里岑（Борис Борисович Голицын，1862～1916）　俄罗斯物理学家，科学院院士，地震学的创始人。他的科学著述很多。

波义耳（1627～1694）　英国著名的化学家兼物理学家。

泥灰岩　粘土和石灰石按不同比率混合而成的一种沉积岩（粘土质泥灰岩和灰质泥灰岩）。如果泥灰岩含碳酸钙75%～80%，含粘土20%～25%，这样的泥灰岩就适宜制造波特兰水泥而不必再加什么别的东西（这样的泥灰岩叫做水泥泥灰岩或天然水泥）。

放射虫　原生动物里极小的一类单细胞动物。放射虫的骨骼非常特别而且多种多样，骨骼的主要成分是二氧化硅。

放射性　一种物理现象，就是某些化学元素，主要是周期表里最后的几种元素，它们的原子会自动进行分裂——蜕变。元素进行这样放射蜕变的结果，一种元素的原子就会变成另一种元素的原子。

环礁　一种珊瑚岛，形成接连的或间断的环，围在当中的叫做潟湖。环礁是在外海里生成的。这种岛可能生成一个孤岛，也可能呈群岛状。

孟加拉烟火　成分不同的各种烟火，燃烧得很慢，并生成白亮的或有色的火焰。可以用来照明，也用来制造烟火。烟火的颜色视元素而异（例如锶能生成红色的火焰等等）。

硅钛钠石　一种紫色的稀有矿物，成分是钛硅酸的钠盐，含在霞石正长岩的伟晶岩里。

硅铍石　一种透明到半透明的矿物，显鲜艳的酒黄色，也有显浅红色的，成分是铍的硅酸盐。

硅铍钇矿　也叫做加多林石，是一种黑色的或浅黑绿色的稀有矿物，成分是稀土元素的复杂的硅酸盐。

硅酸盐类　一大群矿物的总称，成分是硅和好多种别的元素(各种各样天然的硅酸盐)。硅酸盐类是地壳里最大的一群矿物；包括长石、云母、普通角闪石、辉石和高岭土等等矿物。

硅藻　极小的单细胞的海藻，有介壳(薄膜)，壳的成分是二氧化硅。硅藻分布在全世界各处的淡水和海水里面。是一种造岩生物，能生成厚层的硅藻石和硅藻土。这样聚集起来的硅藻石和硅藻土有很大的经济价值，可以用做建筑材料和研磨料。

舍勒(1742 ～ 1786)　瑞典杰出的化学家，他发现了氧、氯和锰。

季米里亚捷夫(1843 ～ 1920)　俄罗斯伟大的科学家、革命家和植物生理学家，又是达尔文进化论的热心宣传者。

花岗岩　一种火成岩，呈晶质粒状结构。成分是石英、长石和云母，有时候还含普通角闪石。花岗岩的颜色多种多样，从白色到黑色，或者从浅粉红色到暗红色。花岗岩坚硬美观，又能生成巨大的单一岩，所以它是贵重的建筑材料、装饰表面用的雕刻材料和耐酸材料。

虎眼石　黄褐色或浅黑褐色的石英，由于它含有纤维状的普通角闪石，所以显金色闪光。

金红石　一种矿物，成分是二氧化钛(TiO_2)；呈褐色和肉红色的晶体。有时候在石英体里生成纤细的毛发状，叫做“发晶”，也叫做“维纳斯发”。

金刚石　结晶的碳的一种。在已经知道的天然矿物里是最硬的。常见的是无色的或者稍带颜色，黑色的很少见。是极贵重的宝石，也有极好的技术性能。是在高压和高温下从熔化的岩浆里结晶出来的。

金绿宝石　一种透明的绿色矿物，含铍和铝($BeAl_2O_4$)，并混有少量的铁，有时候还混有少量的铬。是一种稀有的宝石。它

的原文名称是指“金色的绿柱石”。

金属渣　熔化的金属(铁、铜)表面上的皮壳，是由于跟空气接触而生成的。渣的成分不固定，要看温度的高低和氧化程度。

长石　在地壳里分布最广的一群矿物，占整个地壳总量的50%左右，是大多数岩石的主要成分；长石的化学成分是钠、钾和钙的铝硅酸盐。长石可以根据成分分成钾长石(正长石和微斜长石)和钠钙长石(斜长石)两种。

青铜　现在所谓青铜，是指铜跟一些别的元素的合金，主要是跟别的金属的合金。就在几十年前，“青铜”这个名称还是专指铜和锡的合金说的。

α粒子　某几种放射性物质射出来的氦离子。α粒子射透物质的时候会使这种物质电离，射在能起荧光作用或磷光作用的物质上就能使这种物质发光。人或别的动物的皮肤受到α粒子的照射，就会引起很难治好的创伤。α粒子还能引起一些化学反应。

α射线　见α粒子条。

阿芝特克人　墨西哥最大的印第安种族之一。1519至1521年间，西班牙人征服了墨西哥，这个种族从此得不到独立发展。

阿格里科拉　德国医师、矿物学家兼冶金学家乔治·拜耳(1494～1555)的拉丁名字。他写的《论采矿业》在一连两个世纪里都是采矿技术和冶金技术上的参考书。

冥王星　太阳系的第九个行星，是1930年发现的。

原子　希腊文原意指“不可分的”，是化学元素最小的粒子。在19世纪中叶以前，科学家认为原子是绝对不可分而又绝对不变的物质粒子。到20世纪初年，科学家证明了原子只是在化学上是不可分的。

恒星系　多少万个炽热的恒星组成恒星系，宇宙里有许许多多个恒星系。我们的太阳也属于一个恒星系，叫做银河系，太阳只是银河系里多少万个自己会发光的恒星之一。

柏采利乌斯(1779～1848)　瑞典著名的化学家和矿物学家。彼得堡科学院名誉院士。他写的化学教科书以及在1820至1847年间逐年写的化学成就简述，促进了19世纪前半期化学的发展。

洪保德(1769～1859)　德国杰出的自然科学家和旅行家。

流星　像一颗星落下来似的发光现象，是由质量不到1克的固态小颗粒从行星际空间侵入了地球的大气圈而发生的。

流星体　固态的铁块和石块，轻的不到1克，重的有好几千吨，是在行星际空间绕着太阳运转的独立的天体。流星体一侵入地球的大气圈，地面上就可以看到流星或火流星的现象，掉到地面上来的就是陨石。

珊瑚虫　海生的腔肠动物。大部分都成群地过活，而且在海里是停住不动的。骨骼里含有石灰质。

珊瑚礁　水面下的或者隆起在水面上的石礁，主要是由石灰质的珊瑚虫群生成的。珊瑚礁都分布在热带的海洋里，大陆沿岸，靠近岛屿的地方，或者外海里水浅的地方。

约里奥·居里(1900年生)　法国杰出的物理学家，现代伟大的原子物理学家之一，著名的进步的社会活动家，加强国际和平斯大林奖金获得者，世界和平理事会主席。他在1942年加入了法国共产党。

红土　潮湿的亚热带地方岩石破坏后的红色生成物，形状像粘土。含有铁和铝的氧化物。外观像砖，用在建筑上；所以红土也叫砖红壤。

红宝石　刚玉的红色变种，可以用做首饰，用做表和计算器等等的"钻"。也能用人工方法制造。参看刚玉条。

负离子　见离子条。

轨道　(1)物体运动的路线。(2)天体在行星际空间围绕太阳运行的路线。

重砂　含金的和含铂的砂砾经过冲洗以后的剩余部分，是由

比重大的矿物组成的。由于它所含的矿物不同，有黑色的和灰色的两类。

重晶石　密度大而不透明的一种矿物，成分是硫酸钡($BaSO_4$)。通常是无色的，也有呈黄色、红色、蓝色和别的颜色的。广泛地用来制造白色颜料和化学试剂等。

钇铀矿　一种矿物，含铀和一些稀土元素。钇铀矿受热会放出大量的氦气来，这些氦气是这种矿物内部的铀在放射蜕变的过程当中生成的。科学家研究了钇铀矿放出来的气体而初次发现地球里也有氦气。在这以前，科学家只知道太阳上有氦气。

页岩　这种岩石不论何种成分和成因怎样，都有薄层结构，且都有明显的片理，也就是说，可以分成平整而又平行的薄层或薄板；可以是沉积岩，也可以是火成岩起了变质作用以后生成的。

风化　岩石和矿物由于受到空气和水的物理作用和化学作用而破坏的现象。

修斯(1831～1914)　奥地利的地质学家。他的主要著作是《地球的轮廓》，这部著作促进了地质学的许多分支的发展。

β射线　原子核分裂时放射出来的电子流。β射线能使气体电离，使好多种物质发光，使照相底板感光。

伦琴(1845～1923)　德国著名的物理学家。他从1895年起特别出名，因为那年他发现了一种特别的射线，就叫做伦琴射线，也就是所谓X射线。

刚玉　一种矿物，成分是氧化铝(Al_2O_3)。它特别坚硬，能够刻划金刚石以外的一切矿物。透明而颜色匀净的刚玉晶体可以用做宝石。红色的刚玉为红宝石；蓝色的为蓝宝石。

刚铝石　是用人工方法从天然的铝硅酸盐或铝土矿里制出来的氧化铝(Al_2O_3)。参见研磨料条。

高山病　一种病，是人升到很高的山上受了低气压的作用而产生的病症。

高岭土　一种瓷土，最初是在中国江西景德镇的高岭开采的，因而得名；颜色很浅，通常是白色的，常生成疏松的细粒土状，成分几乎只有高岭石一种矿物。纯净的高岭土有很大的耐火力，熔点是1750摄氏度。高岭土是由含长石很多的岩石分解而成的。在陶瓷工业、造纸工业、橡胶工业、化学工业和别的工业部门上都有用途。

高岭石　一种不透明而没有光泽的白色矿物，成分是$Al_2(OH)_4(Si_2O_5)$，含大约40%的矾土（氧化铝），其余是二氧化硅和水。

埃　长度的单位，等于1厘米的$1/10^8$，也就是1×10^{-8}厘米。记号是Å。主要用在光学上来测量光波的波长，还用在原子物理学上。这个单位的名字是从一个瑞典科学家埃斯特朗的名字得来的，他在1868年首先使用了这个单位。

海王星　太阳系的第八个行星，是1846年发现的。

海蓝宝石　一种透明的绿柱石，有像海水那样的蓝绿色；是一种贵重的宝石。

X射线　波长很短的电磁辐射波，是1895年伦琴发现的，所以也叫做伦琴射线。在科学上和技术上应用极广。可以用来研究原子和分子的结构。可以用来分析物质，寻找这种物质里是不是含有某些元素。在医学上也得到广泛的应用。

真空　在密闭的容器里空气极其稀薄的空间。

祖母绿　见绿柱石条。

纯橄榄岩　一种深成火成岩，主要成分是橄榄石这种矿物。

起偏振片　用特殊的晶体制成的薄片，这种薄片能把天然的光变成偏振光。

射气　放射性元素蜕变生成的气体。

库尔斯克地磁异常区　库尔斯克城附近面积很大的一个地区，磁针在这个地区里偏斜得很厉害，这是因为这里有储藏量丰富的磁铁矿。

选矿 是矿石的初步加工，目的是清除矿石里的废石或别的矿物。

针铁矿 也叫做**歌德石**，是一种脆的矿物，呈浅红黄色或黑褐色，成分是含水的铁的氧化物。针铁矿和别的铁的氧化物都用来炼铁。

闪石 也叫做普通角闪石，是一种暗绿色、浅黑绿色或黑褐色的矿物，有玻璃光泽。是硅酸盐类的造岩矿物。生成致密的粒状和纤维状块。

闪电熔岩 像手指那样粗的管状岩石，是闪电打在沙上，把沙熔化以后生成的。

闪长岩 一种浅灰绿色的火成岩，成分是斜长石和普通角闪石，有时候还含黑云母和石英(石英闪长岩)。因为有很大的粘性和硬度，所以是很好的建筑材料。

闪锌矿 有金刚石光泽的一种黄色、红褐色、绿色和黑色的矿物。成分是硫化锌(ZnS)。是提炼锌的矿物。它有铅的光泽，但是并不含铅，所以闪锌矿的原文名称有“欺骗”的意思。

离子 带有正电荷或负电荷的原子、分子、分子的一部分或者分子团。物质电解的时候，带正电的离子向负极移动，这样的离子叫做**正离子**(例如盐里的金属离子和酸里的氢离子)；同时，带负电的离子向正极移动，这样的离子叫做**负离子**。带有不同电荷的离子互相吸引，这就是它们化合成分子的原因。

假象 矿物生成的有晶体结构的、然而不是这种矿物所应该有的形状。这种矿物的外观像别种矿物，像埋在地底下的木头或者贝壳。

伟晶岩 岩浆的最后部分形成的不同成分的脉岩，这部分岩浆充满着许多种容易逸散和容易熔化的元素。许多岩石都能生成伟晶状，最著名的是**伟晶花岗岩**。伟晶花岗岩里的长石、石英、黑云母和白云母的晶粒都特别大，还常常聚集着宝石和稀有矿物。

伟晶岩晶洞 伟晶岩脉里天然生成的洞，这种空洞的四壁上

常常生成美丽的各种矿物的晶体。伟晶岩晶洞这个名称是乌拉尔采矿工人起的。

偏振光显微镜　研究结晶物质的一种显微镜。主要是用来研究岩石和矿物的。

基什拉克　乌兹别克语，指中亚细亚的居民点。

康坡斯捷耳红宝石　一种稀有的鲜红色石英晶体，产在中亚细亚的山洞里，西班牙也有出产。

探井　竖直的浅井，是为了勘探矿床而挖掘的。

斜长石　见长石条。

条带状大理岩　不同颜色的方解石生成的带状沉积物。可以用做美丽的装饰材料。

条带状玛瑙　玛瑙的一种；形成白和黑、白和红或别的不同颜色间隔着的层次。层面很平而条纹又很直的条带状玛瑙可以用来制造小巧的浮雕和别的细工制品。

淤泥　江湖海洋底部的沉积物，主要成分是细小的粘土粒，大小不到 0.01 毫米。通常还把粘性小而水分多的软泥称为淤泥。

琉克理细阿(公元前 99 ～前 55)　罗马的天才诗人、哲学家。在他写的《论万物的本质》这篇著作里，他用韵文的体裁阐述了原子论唯物主义的哲学。

盖德罗依茨(Константин Кадтанович Гедройц, 1872 ～ 1932)　苏联土壤学家兼农业化学家，1929 年起当选为科学院院士。他创立了一种学说，论述土壤的胶体以及这种胶体在土壤的生成和土壤肥力中的作用。

研磨料　硬度很大的物质，碎裂的时候能生成有棱角的颗粒。金属、石头和玻璃等等都要用研磨料来进行切削、锯断、钻孔、车光、磨平、磨光和各种别的加工。重要的天然研磨料有：金刚石、刚玉、石榴石、燧石、石英、砂石和浮石；人造的研磨料有合成的刚玉(电刚玉、刚铝石)、金刚砂(石英和碳的合金)、斯大林合金、钨碳合金和碳化硼。研磨料在技术上的用途极大。

荷马　传说里的古希腊写叙事诗的诗人。

蛇纹石　含水的硅酸镁，里面含有少量的铁、铬和镍；最常见的蛇纹石是从葱绿色到浅红绿色的。可以用做装饰品。

蛇纹岩　一种致密的绿色次生岩石，成分是蛇纹石、磁铁矿、铬铁矿和别的矿物；里面常有绿色、黑色、灰色、白色、红色和黄色的斑点，很像蛇皮。

蛋白石　一种非晶质结构(玻璃状)的矿物，成分是含水的二氧化硅，水的含量不固定。外观有各种各样。大多是透明的、晕色的和色泽匀净的(贵蛋白石、玻璃蛋白石、水蛋白石、火蛋白石等)，普通的蛋白石没有晕色，也不完全透明(乳蛋白石和蜡蛋白石等)；半蛋白石有半透明或不透明的，含有多种杂质(玛瑙蛋白石、碧石蛋白石、玉髓蛋白石等)；美蛋白石是一种白色瓷状的蛋白石。蛋白石在自然界里分布很广，是从热溶液和冷溶液里析出来的。海底聚集着大量的蛋白石物质，是各种海生动物和植物(放射虫类、海棉类和硅藻类)进行生活作用的结果。

粘土　一种沉积岩，主要成分是含水的铝硅酸盐，还经常含有各种矿物的微小颗粒。粘土有可塑性，跟水混合后形成面团似的块状。用在建筑上和制造陶器等。

软玉　一种乳白色、灰色、苹果绿色到暗黑色、近墨绿色的矿物。是含有钙、镁和铁的闪石。不透明，但是薄片可以透光。可以磨得很光。硬度大，有韧性，有极细微的交错着的纤维结构，所以很有价值。可以用做细工材料，在技术上也有用处。

陶瓷器　是把粘土或粘土加上别的矿物质烧成的制品。陶瓷器这类制品很多：建筑用的砖、瓦、瓷砖、花砖、透化硬砖、水道管、排水管、耐火制品、耐酸制品、陶器、釉陶、瓷器。早在石器时代，人们就开始用简陋的方法烧制陶瓷器。

雪崩　大量的雪和冰从高山的山坡上崩塌下来的现象。

喀斯特　也叫做溶解陷穴或岩洞，是有能在水里溶解的和能被水渗透的岩石(石灰岩、白云岩、石膏)的地方特有的地形。由

于岩石受到地下水的淋蚀，地面上就逐渐出现塌陷漏斗和闭塞洼地，而在地底下也出现洞穴。这些地带的河流常常流进裂缝和塌陷漏斗里，流到地下，然后又流出到地面上来。喀斯特现象在克里木、乌拉尔和在西伯利亚的一些地区正在发展。

单矿岩　单由一种矿物组成的岩石。

富铀黄绿石　也叫做门捷列夫石，是一种稀有的黑色矿物，含铌和钽。

斯特累波(公元前 63 ～公元 20)　希腊著名的哲学家和历史学家。到小亚细亚、叙利亚、埃及、意大利和希腊旅行过许多次。他写了一部 17 卷的《地理》，这部书差不多很完整地流传到了今天，已经有许多种文字的译本，包括俄文译本。

斯堪的纳维亚古事记　古代斯堪的纳细亚的传说，是全世界闻名的一部记事文献。

晶体　由原子或离子构成的有规则的几何结构，这些离子或原子都分布在结晶格子的交点上。早在公元前就有“晶体”这个名词，那时候是指水晶而言，认为水晶就是石化的冰。后来，人们把天然出产有多面体形状的一切矿物都叫做晶体。结晶学就是专研究各种晶体的。

晶洞　岩石里的空洞，有圆形和椭圆形，扁豆形状的比较少；空洞的四壁上有各种矿物的晶体。

智利硝石　钠的硝酸盐。参见硝石条。

普通角闪石　见闪石条。

普鲁托　古希腊神话里冥府(地狱)的神。

氰化法　从岩石里提取金的一种方法。这种方法是使岩石里细小分散的金粒溶解在氰化钾的水溶液里。

混凝土　人造的砾石质的材料，是一种坚硬的混合物，成分是胶结的物质(水泥)、水和天然或人造的石质填料(沙、小粒矿渣、小的砾石、碎石子)。

无液气压计　见气压计条。

无烟煤　煤的一种，是含碳最多的煤，含碳量为90%～96%。

斑岩　凡含有大的晶体和大的矿物颗粒(长石、石英)的岩石都叫做斑岩，这种晶体和颗粒嵌在由比较小的颗粒所组成的岩石主要成分里。

琥珀　针叶树树脂凝成的致密块状的化石，主要是第三纪的针叶树树脂凝成的。颜色从乳白色、铜黄色、褐色到深橙色和浅红色。性脆，但是很容易车圆和磨光。燃烧的时候有香味。在化学工业上和电工技术上都有用处，还可以用做细工材料。

发光石　乌拉尔人叫那些可以拿来琢磨的宝石的名字，例如祖母绿、黄玉和蓝宝石等等。

硝石　钾的硝酸盐，自然界里的硝石都在沙漠地区生成白色的薄壳覆在地面上，也有生成大块岩石和别的形状的。硝石可以用做肥料，也可以制造炸药。

黄玉　有很强的玻璃光泽的一种矿物，有透明的、半透明的和不透明的，颜色有无色、酒黄色、浅绿色、青蓝色、浅红色等等。化学成分是铝的氟硅酸盐。透明而又美丽的黄玉晶体可制成宝石。

黄铁矿　一种金黄色的矿物，成分是铁的硫化物(FeS_2)，含铁46.7%，含硫53.3%。在自然界里分布非常广，主要用途是制造硫酸、绿矾、矾类和硫。

黄铁矿类　铜和铁(以及镍和钴)的有颜色的硫化物，有金属光泽。黄铁矿和黄铜矿就是这一类矿物的例子。

黄铜矿　一种黄铜色矿物，含铜35%、硫35%、铁30%。是主要的铜矿石之一。

菱镁矿　白色或稍带别的颜色的一种矿物。化学成分是碳酸镁。是制造冶金炉等的极好的耐火材料。

结晶学　研究晶体的科学；研究晶体的形状、光学性质、电学性质、机械性质等，研究有关晶体的产生和成长的问题，并且

研究晶体跟各种化学成分的关系。

紫水晶　紫色透明的矿物。是石英的一种。参见石英条。

紫外线　波长从 4000 纳米到 10 纳米的电磁波的总称。

紫锂辉石　透明的浅紫色或粉红色的一种锂辉石，锂辉石是含锂和铝的硅酸盐的一种矿物。紫锂辉石可以用做宝石。

超声波　频率超过听觉的最大限度的机械振动。

超基性岩　这类岩石含镁和钙等金属(都是碱性的)特别多，也含氧化亚铁；硅酸占 4.5%。一切超基性岩都是深色的(绿色或黑色)，密度也大，是地下很深的岩浆生成的。

超短波　波长不到 10 米的电磁振荡。

钛铁矿　一种半金属的不透明的黑色矿物，成分是 $FeTiO_3$，是提炼钛的重要矿石。

钙铬榴石　翠绿色的含钙和铬的石榴子石。

云母　一群成分复杂的矿物，含碱金属、镁和铁的各种铝硅酸盐。云母的特点是能够裂成极薄的片。云母主要有白云母和黑云母两种：白云母是浅色透明的，里面含钾；黑云母从能够隐约透光到完全不透明，里面含铁和镁很多。有时候能生成极大的晶体。是很有价值的电绝缘材料。

云母页岩　一种页状岩石，主要成分是云母和石英，也含少量的长石。

黑晶　几乎全黑的水晶，但是薄的黑晶碎片显褐色。把黑晶小心地加热(放在面包里烘焙)，颜色就会变浅，变成黄色，可以用来制作宝石。如果继续加热，它的颜色就会褪尽。它的颜色的成分和成因还都不清楚。参看石英条。

黑云母　见云母条。

黑钨矿　一种浅黑褐色矿物，含有钨、铁和锰。钨的含量达到 50%，全世界 95% 的钨都是从黑钨矿里提炼出来的。用途是炼钢和制造颜料。

微米　1 毫米的 1/1000。

滑石　最软的矿物之一，成分是硅酸镁，有银白、浅绿和浅黄各种颜色，特点是有脂肪光泽和珍珠的闪光，并有滑腻的感觉。粉末状的滑石可以用做爽身粉，在橡胶工业、造纸工业、颜料工业等部门可以用做填料；板状的整块滑石可以用做耐火、耐酸和电绝缘材料。有一个致密的变种叫块滑石。

炼金术　化学在中世纪的名称。通常把科学的化学发展以前的时代叫做炼金术时代。

烟煤　一种黑色的煤，含碳 70% ～ 90%，参看煤条。

煤　大量聚集的各种生物残骸——主要是植物残骸——在漫长的地质年代里逐渐发生变化而形成的产物。呈层状，常跟粘土、砂岩等交错成层。煤层的厚度薄的不到 1 厘米，厚的有几米。煤分做无烟煤、烟煤和褐煤 3 种。

硼砂　它的成分是十水合四硼酸钠($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)。很容易溶解金属的氧化物，所以在焊接金属的时候可以用来擦净金属的表面。也用在陶瓷工业、制革工业、医药上。

硼酸　一种弱酸，成分是 H_3BO_3，自然界里有天然产的，就叫天然硼酸。是一种白色晶体，形状像鳞片。

羟钒矿　非常稀有的一种红色美丽的矿物；成分是天然的钒酸($V_2O_5 \cdot H_2O$)。产在中亚细亚。

道库查耶夫(1846 ～ 1903)　俄罗斯伟大的自然科学家，他奠定了现代土壤学和自然界的综合研究方法。他的研究方法是地理学科学的基础。他的经典著作是《俄罗斯的黑土》(1883 年)。

达尔文(1809 ～ 1882)　英国伟大的自然科学家，他创造了生物进化的唯物的学说——达尔文主义。他是科学的进化论生物学的创始人。他的著作有《物种起源》等。他的学说在对生物界的认识上帮助唯物主义战胜了唯心主义，这就是达尔文的历史功绩。

铌钇矿　也叫做萨马尔斯基石，是一种天鹅绒黑色的稀有矿物，成分是铌酸盐类和钽酸盐类。

铌钛铁铀矿　稀有的红褐色的放射性矿物；成分是铀、铁和另一些金属的铌酸盐和钛酸盐。最早是在马达加斯加岛发现的。

铌铁矿　一种稀有的不透明的黑褐色矿物，成分是铁和锰跟铌和钛的化合物。是制取钛和铌这两种稀有金属的矿物。主要产在伟晶花岗岩脉里。

铍青铜　铜和铍的混合物(铍的含量是 2% ～ 2.5%)，坚韧性和弹性都很大，导电性和导热性也很强。用来制造弹簧，制造起重要作用的弹性零件；也用来制造在高温高压下用高速度动作的齿轮、轮毂和轴承。

铁矿石　含铁 25% ～ 70% 的矿石。铁跟氧的化合物与混合物有：赤铁矿(包括镜铁矿)、磁铁矿、褐铁矿、褐铁矿的变种(黄色赭石、含水针铁矿等等)、针铁矿、菱铁矿、铁石英岩等等。铁跟硫的化合物不适宜用来提炼铁。

陨石　掉在地球表面上的铁块或石块，是进入大气圈的流星体没有完全烧毁的剩余部分。

陨石学　专门研究陨石以及陨石掉到地球上来的条件的一门科学。

雷汞　成分是 $Hg(ONC)_2$，是汞的雷酸盐。白色或灰色的晶体，有毒。受到碰撞、摩擦以及受热和受到一些浓酸的作用都很容易爆炸。因此，处理雷汞的时候一定要十分小心。用做起爆药。

构造地质学　地质学的一个分支，是研究岩层构造和岩层变位的一门科学。

荧光　物质不是由于灼热而是由于表面受到太阳光、电弧的光、紫外线或 X 射线的照射而发光的现象。一停止对这种物质照射，它也就立刻停止发光。

熔岩　火热的液态物质(岩浆)，是从火山口里或者从地球表面的裂缝里流出来的。凝固以后就形成各种火山岩。熔岩可以形成急流(在火山的山坡上)，也可以形成地面的覆盖物(从地面的裂缝里流散开来的时候)，这样凝成的火山岩有时候占极大的

面积。

熔剂　熔化矿石的时候加进去的矿物，目的是使矿石容易熔化，使金属跟熔化了的废石(矿渣)分离开来。石英、石灰石、萤石等矿物和岩石都可以用作熔剂。

玛瑙　成层的带状玉髓，能生成不同颜色(白、红、黑等)的层次。参见玉髓条。

碳化物　金属和碳的化合物，是用炭和金属或金属的氧化物作用制得的。

碳酸盐　碳酸的盐类。在自然界里分布很广。

碳酸矿泉　基斯洛沃德斯克城里的矿泉。泉水里溶解着多种盐和大量的二氧化碳，所以这种泉水可以治病。

碧石　玉髓的一种，混有大量细小分散的染色物质。自然界里常大量聚集。很坚实，硬度也大，颜色又美丽而且多种多样，所以在技术上和艺术上都有很大的价值。

腐殖酸　含在天然腐殖土里的腐殖质里的酸性部分。这是复杂的有机物，在植物栽培上起着很大的作用。

裾　平原上长条倾斜的冲积物，是流水冲刷岩石生成的。

赫拉克利特(公元前 530 ～前 470 左右)　古希腊杰出的唯物主义哲学家。他的哲学见解在马克思列宁主义经典著作里得到了详尽的科学的评述。

赫歇耳·约翰(1792 ～ 1871)　英国天文学家，他的父亲威廉·赫歇耳也是英国杰出的天文学家。

铬铁矿　密度很大的一种矿物，显黑色或浅黑褐色。常生成粒状和致密块状。是一种提炼铬的矿石。

铱锇矿　一种稀有的铂族元素矿物，成分是锇与铱的天然合金。

雌黄　一种黄色矿物，常生成页状和柱块状，成分是砷的硫化物。

喷气孔　火山附近喷出气体的孔，喷出的气体流含硫化氢和

二氧化碳，并含少量的氨和沼气。最著名的喷气孔在意大利的托斯卡纳。它喷出的气流里面含有硼酸，可以提出来供工业上使用。从喷气孔里出来的水蒸气可以用在暖气装置上。

德谟克利特(公元前460～前370左右)　希腊伟大的唯物主义哲学家。

橄榄石　一种黄绿色、橄榄色或黄褐色的矿物，有玻璃光泽，能隐约透光。成分是铁和镁的硅酸盐。呈板状和粒状晶体。透明而显金绿色的橄榄石叫做贵橄榄石，可以磨成宝石。

橄榄岩　一种深灰色或黑色的结晶深成火成岩，成分是橄榄石和辉石这两种矿物。铁和镁含量很高。

磁铁矿　一种黑色不透明的矿物，成分是氧化铁和氧化亚铁；磁性极强，有时候能够生成大山脉(例如乌拉尔的马格尼特山和维索山)。是最重要的铁矿石。参看铁矿石条。

褐煤　煤的一种。含碳50%～90%，灰分和硫的含量比较多。广泛地用做燃料。

褐铁矿　铁的氧化物的各种水化物所生成的胶状沉积物，成分不固定。是提炼铁的一种矿石。参看铁矿石条。

绿泥石类　一类矿物，成分是含水的镁的铝硅酸盐，一部分氧化镁和氧化铝可以被铁的氧化物所替代。颜色都是绿的，但是深浅不同，有时也深得呈黑色；这类矿物里还常常混有黑云母、普通角闪石和辉石。跟云母一样，这一类矿物也可以分成一片一片的，但是没有弹性，这是跟云母不同的地方。

绿柱石　提取金属铍的主要矿物。主要成分是硅、铝和铍(铍的氧化物的含量达到14%)。无色，或者呈浅绿色和浅黄色。有许多透明的、颜色美丽的变种：祖母绿(鲜绿色)，海蓝宝石(海水的颜色)，红绿柱石(粉红色)，等等。纯净的和色彩美丽的绿柱石都是宝石，祖母绿的价值特别大。

绿高岭石　一种土状的苹果绿色的稀有矿物，成分是铁的氧化物和硅酸盐；是原生的硅酸盐经过风化而变成的。

质子　带有正电荷的一种物质基本粒子。质子和中子共同构成原子的核。核里的质子数等于核外带有负电荷的电子数，因而也等于元素的原子序数。

质谱仪　测定各种化学元素里的同位素分量的一种仪器。

赭石　重金属氧化以后生成的黄色土状物(例如钒、钨、铁、铬和铅等等氧化以后都能生成赭石)。有一类赭石可以用做颜料，成分是铁的各种氢氧化物，里面含有不同量的水分，颜色从土黄色到红色。

铝土矿　一种粘土质岩，通常是白色的，有时候显浅红色，成分是铝、铁和钛的氧化物的含水化合物。是提炼铝的原料。

铝硅酸盐　属硅酸盐类，主要成分是氧化铝，也就是矾土。

辉石　含铁、钙和镁很多的硅酸盐，化学成分很复杂；有灰色、浅黄色和绿色，直到黑色。有玻璃光泽。它的变种相当多(顽辉石、古铜辉石、紫苏辉石、透辉石等)。这一类矿物的代表是普通辉石。

辉长岩　一种深成火成岩。含铁、钙和镁很多，含硅酸很少。颜色有黑色、浅绿色或者灰色。是极好的建筑材料。

辉钼矿　一种铅灰色有金属光泽的矿物。化学成分是二硫化钼(MoS_2)。是主要的钼矿石。

辉锑矿　铅灰色有金属光泽的矿物，还常有五彩的晕色。成分是硫化锑(Sb_2S_3)。常生成针状晶体和致密的块状。用途是制取锑。

轮机压缩机　利用轮机使气体膨胀来进行冷却的一种机器。用来从空气里提取氧气和别的气体。

发晶　也叫做维纳斯发，是含有金红石和别的毛发状矿物的水晶、烟晶和紫水晶。

凝灰岩　也叫做火山凝灰岩，是火山灰压紧在一起而形成的岩石。颜色从浅灰色、浅紫色到黑色。

卢瑟福(1871～1937)　英国的大物理学家，他研究了原子

结构和放射作用，他在这方面做了很多实验。

萤石　从透明到不透明的一种矿物，大部分显不同色调的紫色、绿色、蓝色和灰色，有玻璃光泽；化学成分是氟化钙。在冶金工业上用做熔剂，来降低矿石熔化的温度，在化学工业上用来制造氢氟酸，又用来浸枕木，在陶瓷工业和玻璃工业上也要用到。透明的萤石晶体可以用在光学上——叫做光学萤石。比较漂亮的萤石可以用做细工材料。萤石有一种浅紫红色的土状变种，叫做土状萤石。

猫儿眼　透明的浅绿色石英，含有石棉的细纤维，所以显丝状光泽。猫儿眼，特别是磨过了的猫儿眼，能够闪出很漂亮的带状光彩。

输送机　也叫做输送带，是车间的内部或者车间相互间为了不停地大量运送货物所用的一种装置，在建筑工地、转载地点和仓库等地方常常使用。

钢　碳和铁的一类合金，多少有些可锻性，还可以含另一些化学元素。

锡石　一种矿物，颜色从褐到黑不等；成分是二氧化锡（SnO_2），锡的含量达到79%。是最重要的提炼锡的矿物。

锰矿　在沉积岩里生成的锰的各种氧化物。锰矿里重要的矿物有硬锰矿、软锰矿和水锰矿。

磷灰石　一种矿物，成分是含有氟和氯的磷酸钙。用途是制造磷肥。

磷酸盐类　含磷和各种金属的化合物。自然界里最常见的是与钙和氟的化合物：磷灰石和纤核磷灰石等等。

镀铬钢　镀了铬的钢。特点是表面坚硬，不受化学作用侵蚀。

霞石　也叫做脂光石，一种浅灰白色或浅绿色的矿物，有玻璃光泽或脂肪光泽，化学成分是碱金属含量很多的铝硅酸盐。霞石在化学工业（制造碱、矾类、硅胶等）中可以当做一种铝矿石应用，在研磨料工业、陶瓷工业、玻璃工业和制革工业（代替鞣革

材料)中也都有用处，还可以用来制造不透水的织物、浸渍木材和用做肥料等等。

霞石正长岩　一种深成火成岩，成分有霞石、长石、辉石和闪石，但不含石英。这种岩石在自然界里比较少见；聚集得最多的地方是科拉半岛。

黝铜矿类　这是一类矿物的统称，主要代表是砷黝铜矿和锑黝铜矿。黝铜矿类可以用来提炼铜。

潟湖　浅水的港湾，跟海(或湖)隔着一条冲积成的泥沙地带——沙洲。根据当地的气候条件，潟湖的水可能是咸的，也可能稍带咸味；潟湖的水所以含盐，是因为海水定期地冲进里面来。潟湖里的生物总是比海里的生物少。

蓝宝石　见刚玉条。

蓝柱石　非常稀有的一种透明的矿物，显蓝色或浅蓝绿色，属硅酸盐类，成分跟绿柱石非常近似。是一种美丽的宝石。

蓝晶石　一种美丽的青蓝色矿物，能隐约透光到完全透明。含60%左右的氧化铝。是极好的耐火材料和耐酸材料，透明的和颜色美丽的经过琢磨以后可以用作宝石。

沥青　各种烃的混合物的统称，自然界里产的沥青有气态的(石油气)，有液态的(石油、地沥青)，也有固态的(地蜡)。沥青常常渗透在石灰岩、页岩和砂岩这些岩石里面，这类岩石就叫做沥青岩。

矿井　矿山里挖的竖的或斜的规模很大的坑道，地面上有一个出口，供运输矿石用。矿井有时可深达3000米，或者更深。

矿石　里面有用矿物的含量达到有开采价值的的矿物或岩石。

矿床　地壳里天然聚集着矿石的地方，在形状、大小和所含金属的百分比方面是值得开采的。

矿泉　溶解着大量无机物的泉水。

矿块　矿物的样品，常常连着含这种矿物的岩石。

炉料　添在熔矿炉里的材料，是矿石和各种必要的辅助原料的混合物，这些成分是按照一定的比率混合的，这样就可以熔炼出非常纯净的金属来。

矾土　成分是氧化铝(Al_2O_3)。含在好多种岩石和矿物(硅铝酸盐)里面。矾土在工业上主要是用铝土矿制取的。自然界里的矾土有刚玉等矿物。

矾类　一类硫酸盐复盐的总称。自然界里产得最多的是铝明矾(明矾石)和铁明矾。

钟乳石　石灰岩地带的地下山洞和坑道里大量生成的泉华，成分是方解石等矿物；钟乳石都从洞顶和洞壁的上方垂下来成柱状(像冰柱)。

露头　岩石、矿脉和矿床直接露出在地面的地方。露头有天然的和人工的两种。

纤核磷灰石　也叫磷钙土，是有机生成的沉积磷灰石。外观是结核状、碎片状或球状的，并且有辐射构造。混有少量粘土和石灰石的纤核磷灰石是有价值的矿物肥料。

验电器　检查物体带不带电或粗略地测量两个物体之间的电势的仪器。

盐土　渗透了大量盐的土，表面上结成了薄层的盐，或者散布着细小的盐粒晶体，显出一片白色。

盐沼地　在干枯了的湖沼的地方形成的盐土，能清楚地看出来原先沿岸的界线的。

镶嵌　把不同颜色的石块、玻璃块、木块、骨头块和别种材料拼成图画的一种艺术品。

钻井　一种特殊的探矿孔，横截面是圆的，口径不大，而深度极大。钻井是用冲击式的或旋转式的钻孔工具钻凿而成。为了测定矿体的大小和品质，为了开采石油、硫和地下水等等，也需要钻井。现代钻井的深度已经超过5000米。

钻石　琢磨成某种形状的金刚石。用做最贵重的装饰品。

钻石轴承 用非常坚硬的矿物制造的轴承，主要是用红宝石(天然和人造)制造。用途是安在精密的机械上来支持迅速旋转的轴。表里的“钻”就是一个例子。

再版《趣味地球化学》跋

倪集众　　欧阳自远

当您合上这本书的时候，您已经从阿·费尔斯曼对大自然热情的歌颂中获知了有关地球化学的基本知识和许多趣事轶闻。笔者在40多年后作为专业研究人员，再次捧读《趣味地球化学》，也深深地被作者渊博的知识、飞扬的文采和对大自然的热爱所打动。而过去的半个世纪正是科学技术飞跃发展的时代：人类不仅把人造卫星送上天空，还把它从宇宙空间收了回来，或者派架航天飞机就地修复出故障的卫星；人类不仅进行了空中与地下的核爆炸，还可以在电子计算机上做同样效果的模拟实验；人类的脚印深深地印在月球上，“漫游者”在火星上旅行，克隆绵羊“多莉”的出世，“深蓝”软件战胜“棋王”；以微电子、信息、生物、航天、新能源与新材料为代表的一大批高新技术的兴起，迅速改变着人类的生活与生产方式，推动着社会生产力的飞跃发展。这一切都表明，在纪元第三个千年到来之际，人类已经创造了巨大的财富，培育了高度的文明；但同时在人类发展的进程中产生一些始料所不及的弊端，严

重的环境污染和生态失衡带来意想不到的后果，对人类的前程提出了严峻的挑战。人类勇敢地应战，在应战中深化对大自然的认识,使自然科学学科有所发现,有所建树。这正是社会进步和科学昌盛的动力。

湖南教育出版社有意抹去历史的尘封，再版世界科普读物名著，选中阿·费尔斯曼著的《趣味地球化学》，并邀笔者为再版写“跋”；想起笔者当年曾受惠于这本书，现在又从事地球化学的研究，感到有责任参与科普宣传，尽管手头有不少杂事，还是欣然命笔,写出下面一段文字。我们无意为该书写“续篇”,只是从我们自己的感受与从事的工作，从地球化学学科发展的角度，谈5个问题:(1)从笔者亲身的体会评述阿·费尔斯曼《趣味地球化学》这本书的意义与作用；(2)补充介绍地球化学学科的发展历史；(3)《趣味地球化学》出版以来半个世纪地球化学的发展，包括在中国的成长壮大过程；(4)地球化学学科的战略意义；(5)迈向21世纪征途中的地球化学。

《趣味地球化学》所叙述的毕竟是四五十年前的资料和认识，再有才华的科学家也难免被打上历史局限性的印记。半个世纪过去了,不同国家、不同民族、不同时代的人终究有自己的着眼点；正像再过50年,新一代科学家再读我们这篇“跋”的时候,同样会有不同的想法,发自己的慷慨!

一

地球化学的先驱、杰出的矿物学家与地理学家阿列克桑德尔·叶符根涅维奇·费尔斯曼（Алексондр Евгеньевич Ферсман）院士是一位才华横溢、知识渊博、思想敏锐、成就卓著并富有开拓创造精神的天才学者。

阿·费尔斯曼的一生是在刻苦勤奋、追求真理的探索中度过的。在地球化学发展初期的艰难年代里，他是一位荆棘丛生密林中的开路者，是一盏在迷雾弥漫中引导人们前进的智慧明灯。1934～1939年，他完成的巨著《地球化学》(4卷)构筑了地球化学大厦的基石和整体框架，是当时地球化学权威性的专著，是地球化学发展的重要里程碑。

阿·费尔斯曼不仅是一位严肃而造诣高深的科学家，而且是一位充满激情、热爱大自然、热爱祖国和热爱青少年的科普作家与诗人。他在从事学术研究的同时，曾写过许多语言通俗、妙趣横生的科普读物，诸如《趣味矿物学》、《趣味地球化学》、《我的旅行》、《岩石回忆录》、《宝石的故事》、《乌拉尔——苏联的宝库》、《俄罗斯石器文化史》等等，特别是《趣味矿物学》与《趣味地球化学》曾风靡全球，征服了全世界各阶层读者，引导和鼓舞世界各地的青少年走上探索地球奥秘的征途。他热情歌颂大自然，输送给宇宙、地球、矿物、元素以生机勃勃的生命，他给了无生命的“石头”以光彩绚烂的生命历程，并描绘了它们对人类的生产、生活和社会发展的无私奉献。正如A.H.托尔斯泰称赞的，阿·费尔斯曼是“歌颂石头的诗人”。

《趣味地球化学》是在阿·费尔斯曼1945年5月20日逝世后，由他的同事和学生赫洛平(В. Г. Хлопин)院士、维诺格拉多夫(А. П. Виноградов)院士、谢尔巴科夫(Д. И. Щербаков)院士等根据他的手稿整理并补充于1948年出版的。随着各种文本的诞生，《趣味地球化学》在全世界的影响日益扩大。苏联的一些学者不断地充实、完善这本科普读物，相继于1950年、1954年和1959年3次修订再版。中文译本《趣味地球化学》(石英、安吉译)是根据俄文1954年修订版翻译的，1956年由中国青年出版社出版。

《趣味地球化学》在中国的影响也是广泛而深远的。记得1952年本文作者之一有幸被录取到北京地质学院矿产勘探系学习。揭开地球的奥秘、为祖国寻找地下宝藏是我们的誓言。在学习过程中

逐渐认识到地球是一部极其庞大而深奥的百科全书，是蕴藏无限知识的宝库，地球的演化进程就像永不停息演奏的一首交响乐，而“石头”就是记录地球沧海桑田、波澜壮阔历史的音符。50年代初期，“地球化学”在中国还是一个陌生而遥远的新词，更不知道这门学科的内容。我们做学生的买不起俄文版《趣味地球化学》，就在书店贪婪地站着翻阅。虽然读起来很觉吃力，但阿·费尔斯曼这位科学大师流畅的文笔、生动而丰富的内容、精美的图片，竟使自然界的石头“活”了起来，深深地吸引着我们，将我们带进了一个神奇而广阔的世界。正是这部传奇式的“地球化学教科书”，使我们把当时掌握得还不多的地学知识有机地联系起来，那些原本枯燥无味的元素、矿物与岩石竟变成了一幅幅栩栩如生的图画，用它们的经历给我们讲述自己的生活、历史以及对人类的贡献。《趣味地球化学》不仅使我们增长了知识，还增强了我们学习地质专业的兴趣与自豪感。

1956年，在“向科学进军”的号角声中，《趣味地球化学》中译本应运而生，并很快在地质院校的师生中广泛流传，逐渐成为渴望获得新知识的社会各阶层知识青年所喜爱的科普读物。“地球化学”变得不太陌生了，地球化学的研究对象和意义为更多的人所理解。当然，对于学习地球科学专业的青年学子来说，更是如鱼得水，从此与地球化学结下了不解之缘。记得当年国内从全国地质院校选拔一批优秀青年教师，参加北京地质学院举办的地球化学培训班，主要讲授地球化学专业课，使一批年轻人可能由此改变了人生轨迹；其中《趣味地球化学》等一系列科普读物的影响，特别在青年一代中所起的不可替代的作用，鼓舞着许多青年探索自然的激情与理想，实在是功不可没。

半个世纪以来，科学技术得到了日新月异的迅猛发展。现代地球化学已经以崭新的面貌与地质学、地球物理学并列成为固体地球科学的3大支柱学科。《趣味地球化学》没有因为时代的局限和科学技术的发展而失去她灿烂的光辉。难能可贵的是书中的思路、

观点和方法经得起历史的考验，是一本专业观点正确、知识丰富、寓科学于趣味之中的优秀科普名著，对当代的读者仍然具有强大的征服力和吸引力。

阿·费尔斯曼在他一生所从事的事业中，对地球化学研究的目的、任务、内容、方法和发展前景有过系统而深刻的思考。他指出，"地球化学研究的基本单位就是化学元素和它的原子"，"研究元素的分布、变化和生活"，"地球化学这门学科的目的是研究我们周围自然界的现实环境里的原子和原子的命运。研究原子的动态，即原子的移动、配搭、分散和集中等作用，是把元素跟原子的性质结合起来研究，因为元素一生的命运正是由原子的性质决定的"。他将地球化学的基本命题与宗旨生动地概括为研究"元素的生活"及其"一生的命运"，这与现代地球化学是研究自然界（地壳、地球，乃至宇宙）的化学组成，元素的分布、迁移与演化规律的定义是完全一致的。他赋予元素以生命与情感，使读者倍感亲切。他认为"地球化学研究的是地球内部的化学作用，不但研究化学元素在地球内部以及整个宇宙里分布和迁移的规律，而且还研究区域的分布迁移，拟定勘探矿产的路线"。他指出地球化学研究的主要任务是探讨化学元素的分布与迁移规律。50 年后的今天，地球化学的主要任务仍然是研究化学元素的分布与迁移规律，为探讨太阳系各天体、地球及各圈层的成因和演化提供科学依据，也为资源、环境、工程、灾害等领域服务。

阿·费尔斯曼以他多年从事科学研究的丰富经验，谆谆教导青年要培养自己的创造性思维，要解剖事物的本质、发现其内在的规律。"我们不愿意做大自然、地球和地球上富源的摄影师，我们愿意做新思想的研究者和创造者。我们要深入到自然景象的内部去，我们深思熟虑地研究过大自然以后不但要产生思想，而且要创立事业"。对后学者的一片厚望跃然纸上。

《趣味地球化学》主要由 4 部分内容构成：原子、自然界里的化学元素、自然界里的原子史、地球化学的过去与未来。阿·费尔斯

曼首先以科学而生动的语言向读者讲述原子的结构与特性，描绘奇妙的原子世界，这是地球化学的理论基础。关于自然界里的化学元素，根据元素的性质、在自然界和人类社会中的作用，他选择了一部分具有典型意义的元素，引人入胜地系统介绍它们的“生活”和“一生的命运”。我们从他所列的标题中可看出他的一片良苦用心：“硅——地壳的基础”，“碳——一切生命的基础”，“磷——生命和思想的元素”，“氟——腐蚀一切的元素”……阿·费尔斯曼还从一个新的角度，即从不同的空间场所和不同的时间尺度讲述原子的历史：宇宙空间、大气层、气候带、水体、地球表面与地下深处，以及人类史与地球史中元素的历史。他系统论述了地球化学思想发展史，坦诚地告诫青年一代，“这门学科是经过无数次精确的观察、实验和测量才产生的”。地球化学这门学科的诞生和建立，经历了众多杰出学者的艰苦探索与积累，通过全世界的科学先驱们各自独立的工作与相互协作，是建立在严格的观察、实验和严密的科学综合与推理基础上发展起来的。他对地球化学学科的发展前景充满憧憬与美好的期望，“所有原子都在经历着漫长的历史道路，我们不知道这条道路从什么地方开始，到什么地方完结。原子产生的过程怎样，它们怎样才开始在地球上旅行，我们还不十分清楚。在地球复杂的未来世界里原子的命运怎样，我们也不敢说”。他提出了地球化学学科未来探索的方向和关键问题，如：元素的起源与形成过程、地球中元素的演化历史、地球未来的演化前景和元素的命运与作用等等。这些思想至今还放射着科学的光芒。

《趣味地球化学》的附录是编者独具匠心的安排，反映了阿·费尔斯曼院士渊博的自然科学、哲学、历史知识的高度融合和智慧的光华，以及独具特色的观点。他毫不保留地将自己丰富的实践经验传授给后人，教你如何从野外工作入手，去观察大自然，去研究地球，成为一名优秀的地球化学家；领着你认识一个个元素的来龙去脉，深入浅出地讲解一种种矿物、岩石和地质现象，领着你继续在门捷列夫元素周期表上展开幻想的翅膀飞翔、遨游。

《趣味地球化学》不仅传播了系统而丰富的科学知识，还传播给我们正确的科学思维与科学方法，这是阿·费尔斯曼用他的心血浇灌和培育的《趣味地球化学》永具魅力，成为世界科普名著的原因。

二

自然科学经历了艰难而漫长的发展历史。17世纪之前，落后的封建主义制度阻碍着生产力的发展，新的科学思想被深深地禁锢在自然经济的牢笼之中。17世纪中叶，英国资产阶级革命首先冲破封建庄园经济的桎梏，蒸汽机的应用促进了经济大发展，也对矿产资源的开采利用提出了新的要求，从而推动了地质勘探和地质学的发展。生产关系的转变，也改变了科学技术的命运，一批批学者走出书斋，下矿井，赴野外，风餐露宿，栉风沐雨，寻找工业必需的矿产，也使地质科学水平大为提高。

自然科学的发展使人类对大自然的认识逐渐深入。当初人们对自然的认识就是从“天”、“地”、“气”入手的。遍地皆是的石头与泥巴是人类最早制工具、种稼禾的“原料”，后来在石头中发现了有用的矿石，提炼出了各种金属。然而，那时候人们并不知道这些金属是一个个“元素”，而只承认土、气、水和火是“元素”。直到1783年，法国科学家拉瓦锡在《化学纲要》中指认出23种化学元素，才打破了这一僵局。此后人们从石头中得到的化学知识迅速增加：自18世纪末到19世纪中叶，化学家从地质学家提供的矿石样品中发现了31种新元素；这些元素的发现，反过来又促进了矿物学和岩石学的发展。1859年，本生(R. Bunsen)和基尔霍夫(G. R. Kirchoff)发明分光镜后，使元素研究工作如虎添翼，接二连三地发现更多的元素。1869年门捷列夫(Д. И. Менделеев)和麦伊

尔(L. Meyer)同时发现了元素周期律，于是人类进入了有预测性地寻找、研究新元素的阶段。1891年，费多罗夫(E. C. Федоров)论证了晶体内原子排列的230种可能形式，使人类对"元素"与"石头"的认识豁然开朗：原来元素是按照一定的晶体结构组成矿物的，不同的矿物组合才是自然界五花八门的石头，而主要由有用矿物组成的"石头"才称为"矿石"；这一认识也开创了矿物晶体化学的研究方向。

由于矿物、岩石、矿石和陨石中化学元素的不断发现，关于它们的化学成分的资料也日积月累，愈来愈多，人们开始把目光转向地球最上部的地壳，想探究一下元素在由石头组成的地壳中是怎样分布的？有没有规律？为什么有的地方的石头是有用的矿石，而有的石头却"一无用处"？怎样能更多更快地找到工业需要的矿石？1872年，美国地质调查所主任化学师克拉克(F. W. Clarke，1847～1931年)开始到各地采集矿物和岩石的样品，进行化学测试。他把这些资料联系起来分析，根据数千个数据计算出地壳的平均化学成分，这就是一直沿用到现在的地球化学中最基本的数据——"克拉克值"。1908年他出版了经典著作《地球化学资料》，后来这本书一版再版，不断补充资料。与此同时，他将静态的地壳成分分析转向地壳物质演化动态过程的研究。1924年他与华盛顿(H. Washington)合作出了第五版《地球化学资料》，并改书名为《地壳成分》。同年，又出版了《物质的演化》，给元素和地壳以"生老病死"与"悲欢离合"演化的"生命"。这些成果引起地质学家和化学家的共同兴趣。

早在1836年，臭氧的发现者许拜恩(C. F. Schönbein)曾说过："先有地球化学，然后才能谈真正的地质科学。"到这时，人们才真正意识到"地球化学"一词能简捷明了地反映整个地球"成分"研究的形式和内涵，反映地质学与化学两大学科之间结合点上新的研究方向。于是"地球化学"作为一门新兴学科走进了世界自然科学学科之林。从此，地球化学在欧美和苏联同时得到发展。费氏在本

书中已用了很大的篇幅介绍地球化学在俄罗斯和苏联所取得的成就，下面补充有关欧美地球化学发展过程与成就。

阿·挪威学者布吕格（W. Brögger，1851～1940）、他的学生戈尔德施密特（V. M. Goldschmidt，1888～1947）和他们的同事做了大量的研究和开创性工作。他们不仅发现了一些新元素和许多新矿物，还把元素性状的概念引入地球化学，开创了新的研究领域，建立了地球化学新的学派。

阿·费尔斯曼在本书中已经提到许多苏联与欧美的地球化学家，并详细论述了俄罗斯和苏联科学家对发展地球化学学科所作的重大贡献。而在欧美科学家中，除了克拉克，戈尔德施密特是另一位值得大写特写的历史人物。

1888年元月27日，戈尔德施密特出生在苏黎世的犹太家庭，他的父亲是一位化学教授，母亲也受过良好的教育。1901年他随父母亲举家来到奥斯陆，1905年成为挪威公民。还在中学时期，戈尔德施密特就表现出对矿物学的浓厚兴趣。1904年暑假，他在山里找到一种与众不同的细粒石英，发现它在加热到二三百摄氏度时有强烈的发光现象；得到他父亲的好朋友布吕格教授的指点，他醉心于这一研究。1907年他发表了自己的第一篇论文，在地学界崭露头角。26岁时戈尔德施密特成为年轻有为的教授。他从最常见的岩石、矿物和矿石的化学成分及其变化入手，研究地球的各种化学作用与化学过程。1922年他发表了“化学元素分配原则”和“地球的分异”两篇文章，把元素分为亲铁、亲铜、亲石和亲气4类，这一分类至今还在被专业人员所引用；在后一篇文章中他指出地球是从均匀到不均匀的。50年后，这一观点得到证实：地球化学研究表明地壳之下的地幔也是不均匀的。1926年戈氏测定并列出第一张离子半径表。1929年，由于他对元素及其有关问题研究所取得的成就，被提名为诺贝尔化学奖的候选人，虽然没有中选，但这次提名使他更坚定了一生的努力——从事地球化学研究。这一年，他来到德国哥廷根大学。其时，这个大学人才济济，这里麇集了一

批诺贝尔奖获得者和一些颇有成就与科学思想的西欧、美国、苏联、日本的专家教授。在浓厚的学术氛围中，戈尔德施密特决心开始全面探索元素的丰度与分配。在物理学家、化学家和仪器制造商的帮助下，改进了分析仪器，提高了测试灵敏度与精度。不久便在煤灰中发现了高含量的锗（Ge），后来锗元素的这种产出状态成为锗的重要工业来源。在哥廷根大学，戈氏与应邀来访的“俄罗斯地球化学学派创始人之一”维尔纳茨基（В. И. Вернадский，1863～1945）前来作访问研究后来成为苏联著名地球化学家的谢尔宾纳（В. В. Щербина）及世界其他国家的地球化学家当面切磋，讨论有关晶体化学、元素类质同象等问题。1930 年戈尔德施密特在哥廷根大学建立了世界上第一个地球化学研究中心，将化学元素性状的概念引入地球化学，创立了“哥廷根大学学派”。1933 年他提出了晶体化学第一定律，并拟定了元素地球化学分类。随之，又提出了地球化学循环的概念。

戈尔德施密特的哥廷根大学学派和苏联以维尔纳茨基与他的学生阿·费尔斯曼所代表的学派遥相呼应，并一直主导着地球化学学科的发展。

本世纪 30 年代中后期，美国诺贝尔奖获得者 H. C. 尤里先后出版了有关陨石中元素的化学分馏与元素丰度、行星的起源与演化等著作，创立了宇宙化学，开拓了同位素地球化学研究。1938 年戈尔德施密特发表了元素绝对丰度表。这篇被他称为“第九交响乐”的文章全面评论了当时能从岩石（主要是火成岩）、陨石和太阳大气中得到的有关化学元素丰度的资料，探讨了元素的宇宙丰度，指出了陨石组分对地球化学研究的重大意义，从而把地球化学研究引向宇宙空间。

所有这一切，标志着地球化学学科将进入一个崭新的发展时期。这种强劲势头不幸被希特勒发动的第二次世界大战打断。1940 年德国法西斯入侵挪威。西欧宁静的校园变成了军营，昔日的讲坛充斥着法西斯的疯狂叫嚣；科学受到摧残，学术研究被打入了冷

官。在奥斯陆，戈尔德施密特不得不把有价值的研究资料深埋到花园里。1941年6月，德国发动侵苏战争，许多苏联学者放下书本和显微镜，走上前线抗击侵略者。1942年10月，戈氏与成千上万的犹太人一起被捕，辗转关进了波兰的集中营。幸而他被挪威的地下组织营救，逃出火坑后经瑞典到了英国，并在那里度过整个战争时期。战后不到两年，他便去世了；他的巨著《地球化学》是由A. 缪尔于1954年整理出版的。

第二次世界大战把20世纪的历史切成了两段，也砍杀了地球化学这棵刚出土不久的科学幼苗。毋庸置疑，战前的工作为战后地球化学的发展、壮大打下了坚实的基础。包括阿·费尔斯曼在本书中提到的苏联科学家所做的大量工作和欧美学者对地球化学基础研究的贡献，成为这门学科在战后高起点快速发展的沃土。

三

第二次世界大战后，地球化学作为一门学科研究基本成型，并以自己的研究范围、研究方法、研究方向和研究思路，从地质学和化学的交接处，从地质学中脱颖而出。50年代初，不仅出版了地球化学的教科书，还创办地球化学专业期刊，成立地球化学学术团体。最早的地球化学专业教科书与最早的国际性专业学术期刊《地球化学与宇宙化学学报》都是在1950年出版的；过了几年，苏联和日本也创办了《地球化学》专业学术期刊，美国和苏联成立了专业研究所，做了大量基础性研究工作。随之，英国、法国、日本、加拿大和德意志联邦都建立了地球化学研究中心。1954年美国率先成立了地球化学学会，1965年国际地球化学宇宙化学学会成立。所有这一切，标志着地球化学学科的成熟和独立成型。

现代地球化学继承了经典地球化学的特点，继续深入以化学

知识武装自己，用化学的观点、理论和方法观察地球，研究地球。在本世纪的后半叶，由于经济和科学技术的发展，也由于地球化学学科自身的强大生命力，它与相邻学科互相结合、互相渗透，产生了许多新的分支学科。学科的大交叉大渗透不断出现新的边缘学科：地球化学与环境科学相结合形成了环境地球化学，与地球深部地质相结合产生了深部地球化学，与构造地质学、前寒武纪地质学、海洋科学、生态学、动力学、热力学相互渗透，分别形成了构造地球化学、前寒武纪地球化学、海洋地球化学、生态地球化学、地球化学动力学和地球化学热力学等等。引进新技术、新设备不仅提高了地球化学样品的分析精度和灵敏度，也产生了一些新的分支学科，如同位素地球化学、实验地球化学。这些分支学科都是围绕着一个中心：研究地球物质和地质作用过程中的化学规律，以观察原子为出发点，研究原子活动的整个历史，包括元素的密集与分散状态及元素的赋存、运移方式；当今地球化学更重视探讨元素同位素和微量元素，这是现代地球化学的第一个特点。

近 50 年来地球化学发展的第二个特点，是将自己的研究内容从地壳中的元素分布，扩大到“地壳中的原子”和元素的迁移、集中和分散，继而发展为“地球的元素组成”、元素的化学演化，以至“地球和行星演化中元素的所有化学方面”；研究的对象从地表到生物圈、水圈、大气圈，从地壳扩展到地幔、核-幔界面乃至地核；从陆地到海洋，从地表(地球表面和最上面的一层地壳)到地下深处(下地壳甚至地幔、地核)；从地球扩展到宇宙空间，从地球延展到地-月系统、日-地系统。时间上不仅探讨不同时间尺度(例如地质历史时期的代、纪和几百万年、几万年、数千年的时间区段)，还从现代追溯到地球形成之初的远古地质时代，上下求索于“遂古之初”。由此，地球化学的研究对象也从常见的矿物、矿石和岩石扩大到土壤、水、冰、雪、气体、尘埃、气溶胶，以及动物、植物样品，从地上的石头延拓到天上落下的石头(陨石)和尘埃(宇宙尘)。随着研究对象的变化，地球化学研究的思路和主导思想也由原来被动阐述元

素的分布，解释各种地质现象与地球化学过程，变为能动地诠释各种地质现象、地球化学作用的过程与起因，进而探索地球的起源、元素的成因，以及生命与人类的起源和演化等等一系列重大科学问题。

现代地球化学发展的第三个特点是，它依然是一门年轻而富有生命力的学科。这既是指这些分支学科尚处于“幼年”阶段，大有发展的前景，也是指在今后的科学技术发展过程中，地球化学以自己极其旺盛的生命力，涉足更多更新的其他领域：例如近年来纳米技术的出现，有可能使人们从新的层次、新的角度重新认识一些基本的地质作用和地球化学过程；人们也已看到一些新的学科，如地球物质科学正从地球化学、地球物理学、深部地质学与地球动力学等几门学科之间破土而出。

可以说，在几代人的努力下，到20世纪50年代，地球化学不仅已经从地质学与化学之间脱胎而出，而且和其他有关学科(如海洋学、环境科学、天文学、物理学、生物学、数学等)互相渗透与结合，产生出数十门分支学科，成为枝繁叶茂的系统性学科。学科基础理论研究愈益深入，有了自己的学科理论，形成了独立的学科框架，迈进了世界科学之林，并且成为固体地球科学的3大支柱学科之一。

从上面我们已经看到世界地球化学学科的发展经历了孕育萌芽时期(19世纪末以前)、独立成型时期(20世纪初至中叶)和稳定发展时期(1950年至今)3个阶段。中国地球化学学科基本上也经历了这3个阶段，只是在发展时间上有较大的差距，在发展速度和发展模式上有所不同。

作为文明古国，地球化学思想在古代中国甚至在史前就有所萌芽。人类对地球化学主要研究对象——矿物和岩石的认识，最早就是从它们的硬度开始的。据统计，史前五六十万年生活在华夏大地上的中华民族祖先认识与曾利用过的矿物有21种，岩石则有30多种。蓝田猿人和周口店猿人遗址中发现有人类祖先用过的石

英、石英岩、燧石、灰岩、水晶等打砸石器便是佐证。在旧石器时期，蓝田猿人、北京猿人和山顶洞人，学会了利用矿物的颜色和条痕(如赤铁矿和石墨等)绘画；新石器时代开始有了玩赏矿物，在遗址中发现过不少玛瑙、叶蜡石、滑石、绿松石、玉石、蛋白石等饰物。新石器时代的仰韶文化至龙山文化时期对矿物和岩石（如粘土、灰岩）的认识及后来的炼铜，表明人类对矿物、岩石的认识与利用已经从物理性质转向化学性质。中国还是最早认识与利用硫磺、水银、雄黄、雌黄以及矿物中包裹体的国家。在浩翰的史籍中，有关矿物、岩石的各种性质、用途的记载更是比比皆是。战国时代成书的《禹贡》中记载了 30 种矿物，战国至西汉前期成书的《山海经》记载了 73 种矿物，《本草纲目》中描述了 275 种矿物的性质和医药用途；可以说，古代中国之所以能发明火药和指南针，传统的中医中药之所以能延续数千年而施惠于全球造福于后代，在极大的程度上是得益于我们的祖先对矿物认识的深化。

除了对矿物、岩石的关注，我们的祖先还对自然现象深感兴趣。史籍中还有很多与地球化学有关的自然现象的描述。以地球化学研究的另一个对象——陨石为例，《竹书纪年》上记载了纪元前 2133 年“帝禹夏氏八年六月，雨金于夏邑”，这是世界上最早的陨石雨的报道。有人从 14 万卷地方志、史书和其他古籍中，查出中国历史上(从公元前 21 世纪至 1948 年)确有实据的陨石事件 365 次(处)，陨石雨 4000 多次，有关陨石的民间传说、游览胜地近 400 余条。

在大量现象观察的基础上，中国古代孕育了朴素的地球化学思想，即把个别事物联系起来，找出它们之间的地球化学联系，或者从现象追溯其成因。战国时期诸子百家之一的荀子指出了陨石的成因：“星之坠，木之鸣”，“怪之可也，而畏之非也”。译成白话文就是：天上掉下星星，就像风吹树叶沙沙响之寻常，惊诧犹可谅，却不必害怕。沈括(1031 ～ 1095)在《梦溪笔谈》中也明确指出了陨石的“星陨”成因。这种素朴的科学思想实在是难能可贵的。我录下如

下一段不是笑话的笑话，读者便可自己明察：1790年7月24日，法国南部的朱里亚克落下一颗陨石，被当地居民用铁链将其拴在教堂的大圆柱上"示众"，市长和300多市民打报告给权威的法国科学院，竟被科学院院士们嘲笑为"天上能掉下石头"与"天上掉下5吨牛奶，外加1000块美味带血的牛排"的"天生的吹牛大王"的胡言乱语。算一算两种截然不同的看法相差700年，就不难看出哪一种"可贵"，哪一种"可笑"了。

《山海经》中关于金属、非金属的石谱，即是地球化学有关矿物共生的概念。《管子·地数》曰"上有丹沙者，下有黄金，上有慈石者，下有铜金，上有陵石，下有铅、锡、赤铜，上有赭石，下有铁，此上之见荣者也"（"荣"即矿体露头）；这段话如果写成地球化学论文，那真是一篇阐明"矿床共生关系和找矿标志"的绝妙文章。据考证，《管子·地数篇》、南北朝（梁）时成书的《地镜图》和宋苏颂（1020～1101）所著《图经本草》中，都有过矿床及其上覆植被的关系的描述，那都是现代生物地球化学找矿的思想萌芽。

但是，数千年封建制度禁锢和扼杀了中国科学文明思想的幼苗，中国地球化学与其他自然科学学科一样，长期处于停滞的状况。即使在封建制度寿终正寝之后，在半封建半殖民地的旧中国，也未能得到发展；而从19世纪末到20世纪中叶，正是世界地球化学学科开始形成、步入独立成型的阶段，尤其是在19世纪末到20世纪上半叶，克拉克、戈尔德施密特、维尔纳茨基、阿·费尔斯曼、尤里，以及兰卡马、萨哈马和马松等人，为地球化学的创立和成长进行了大量的研究，提出了基础理论，形成了不同的学派，产生了不少分支学科。在中国，一直到20世纪二三十年代，才有一些思想敏锐的地质学家开始介绍地球化学学科，作了一些初步的尝试和研究：谢家荣（1923年）、章鸿钊（1927年）、朱文鑫（1933年）收集和描述过中国的陨石，舒文博和李四光在1924年同一本杂志上发表了某些侵入体地球化学特征的论文，谭勤余1935年将维尔纳茨基的《地球化学》译成中文介绍给国人。

第二次世界大战后，科学技术的进步和经济的繁荣，使地球化学与其他学科一样，得到迅速的发展。在中国，50年代初由侯德封、叶连俊等一批老科学家带动，开展了地球化学研究。一批从国外学成归来的年轻科学家，或从事教学工作，或涉足科研、找矿领域，使中国地球化学研究从几乎空白状态进入生机勃勃的起始阶段。1950年，涂光炽首先在清华大学讲授地球化学的基本知识和地球化学探矿方法。1956年国家制定的科学发展12年规划中，地球化学被列为大力发展的新学科。

五六十年代是中国地球化学奠定基础的阶段。初期的工作主要是围绕找矿，开展矿床地球化学、元素地球化学、实验地球化学和同位素地球化学及地球化学样品的化学分析研究，较多地结合区域地质测量和找矿，进行地球化学的基础工作，探讨某些元素、岩类和个别矿床的地球化学特征。50年代初侯德封、叶连俊等应用地球化学原理在中国找到钢铁生产急需的原料——锰矿。通过锰的地球化学性质研究，在国内首次应用地球化学原理，阐述了中国锰矿成矿规律和找矿远景，成功地在华北、华中、华南和西南找到锰矿。50年代末，侯德封又提出并阐明了地层地球化学、化学地理和化学地史的概念。

50年代末60年代初，结合稀土元素、稀有元素的研究和全国镍、铬、钴、铂、金刚石、钒、钛、铀和硼的系统调查，开展了有关的元素地球化学、矿床地球化学和实验地球化学研究。中国科学院和（原）地质部分别开展了同位素地质年龄测定和研究；中国科学院研究人员对白云鄂博矿物学研究，开创了中国的稀土元素系统研究。他们先后调查了东北、新疆、华北、华南、华东和西南的稀有元素矿产地质，开展了稀有元素地球化学及碱交代作用和配合物理论研究。中国科学院系统相继建立了一些地球化学研究室。产业部门和高等院校纷纷建立与地球化学有关的实验室和教研室。于是形成了科研机构、高等院校与地质生产部门从不同的角度在全国开展地球化学的科研、教学与地球化学找矿工作。新的实验室如包

裹体实验室、同位素地质年代学与同位素地球化学实验室、高温高压实验地球化学实验室、电子探针实验室纷纷建立；新的方法如同位素测年、有机碳测量和硫化物中硫同位素测量等方法正在尝试。这些工作不仅为中国地球化学研究与应用打下了良好的基础，提供了中国第一批地球化学数据，而且培养了一批日后成为中国地球化学研究中坚力量的人才。

这个时期，大学地质系开始编写教材，开设地球化学课程，设立科研机构，筹建实验室。从国外学成归来的年青科学家在这一阶段起了先锋、开拓作用。南京大学地质系、北京大学地质系相继设置了地球化学专业，培养元素地球化学和矿床地球化学专门人才。1958 年成立的中国科学技术大学首设地球化学系，下设同位素地球化学、稀有元素地球化学及化学分析 3 个专业，并建立了相应的地球化学基础课和同位素（放射性）教研室；中国科学院地质所的科研人员在中国科学技术大学地球化学系兼职任教，使科研和人才培养相得益彰。1961 年南京大学地球化学教研组出版了国内首部《地球化学》教程。

中国地质学会 1963 年底召开的全国第一届矿物岩石地球化学学术会议，是这一阶段地球化学研究成果的一次检阅。这次会议很受党和国家的重视。毛泽东和许多领导人接见了会议的代表。3000 多人（次）参加了学术讨论，探讨了矿床地球化学、岩石地球化学、元素地球化学、同位素地球化学和地球化学样品的分析测试，显示了地球化学这门新兴学科于短短的十余年间在中国迈出了稚嫩但坚定的第一步。这次会议还是一次向地球化学研究深度和广度进军的动员会，会上酝酿成立全国性的矿物学、岩石学和地球化学学术组织，标志着一次新的地球化学研究高潮的到来。此后，中国科学院决定成立地球化学专业研究机构——地球化学研究所。可惜这样一次新的进军由于 1966 年开始的“十年动乱”而不得不偃旗息鼓。

在“十年动乱”中，地球化学科学与其他学科一样，备受破坏和

摧残:学校停课,教学计划被中止;科研工作秩序被打乱,基础研究被贬为“封、资、修的阴魂”,科技人员被迫停止工作,或被审查、批判,一些正当盛年的科学家身心受到严重摧残,甚至含冤去世。但是科研人员忍辱负重,坚持科学研究,冒险进入发生“武斗”的地区进行野外调查和取样,并在矿床地球化学、地方病调查、同位素地球化学的研究中取得进展。当年,攀枝花钒钛磁铁矿矿石物质成分和元素赋存状态研究课题在“文革”中就没有中断过科研工作,一直坚持到1972年完成全部科研计划,提供了攀枝花-西昌地区8个矿区的11个研究报告和数以万计的化学、物理测试数据。1968年,一批年青的地球化学工作者自动组织起来,奔赴东北克山病病区开展地方病地球化学调查和防治工作,使中国环境地质地球化学研究与国际上几乎能同时起步,为20世纪70年代初形成环境地球化学创造了必要的条件。科研人员于1968年在没有引进国外技术的情况下,研制了铅-铌年龄测定方法,确定了珠穆朗玛峰地区变质岩年龄,70年代初又在国内开拓了一些新方法的应用领域。1972年,中国科学院地球化学所打破“万马齐喑”的局面,主持召开了全国稀有元素地质地球化学科研工作经验交流会,创办了全国最早的地球化学专业学术期刊——《地球化学》。一些被贬为“反动学术权威”的专家、教授,一踏出“牛棚”,便投身课题和学术研究,奔赴野外、矿山,继续被中断了的科研、教学工作,或走上学术会议讲坛,交流研究心得。70年代中期的全国富铁矿会战更凝结了科技人员的汗水和智慧,敢于作出一些被认为“不合时宜”但尊重科学的论断。总之,“十年动乱”破坏是严重的,但是科技人员不忍失去发展学科的机会,即便在“运动”期间,也在努力工作,为“动乱”一结束地球化学研究就能迅速而全面地得以开展奠定了基础。

在腊梅怒放冬去春来,科学的春天来临之际,1978年中国地球化学工作者的群众性学术团体——中国矿物岩石地球化学学会成立了,并于次年以中国国家的名义加入了国际地球化学与宇宙

——

化学协会及国际矿物协会。与学会成立大会同时召开的学术会议上，700篇论文反映了矿物学、岩石学和元素地球化学、矿床地球化学、有机地球化学、环境地球化学、天体化学、实验地球化学、同位素地球化学、勘查地球化学以及其他应用性领域的进展，表明原有的分支学科又有了长足的发展，一些新的分支学科如有机地球化学、环境地球化学犹如异军突起，有机地球化学探讨了中国东部陆相盆地的生油机制，不同盆地石油演化，以及油气运移与富集的地球化学因素；在对克山病地球化学病因研究的基础上，又开展了大骨节病、地氟病调查，全面进入到环境地球化学与健康的研究，进而探讨氟、硒、钼等元素的生物地球化学、分子生物学模型，并在元素本底含量测量，珠穆朗玛峰地区冰雪、水、生物、土壤中的微量元素，环境质量评价与环境质量模型方面取得进展。吉林陨石雨的研究揭开了中国陨石学和天体化学研究新的一页。同位素地球化学积累了近5000个同位素年龄数据，完成了中国第一个前寒武纪地质年表，从同位素地球化学的角度总结了中国铁矿床硫同位素数据，提出了华北和东北地区若干富铁矿形成、华北与长江中下游某些铁矿床物质来源和形成机制的新观点。矿床地球化学拓宽了传统矿床学的思路，认识到地质体与矿床形成的多成因、多阶段性，探讨了某些铁矿床的矿浆成矿模式和硅卡岩铁矿的地球化学类型、铀矿形成的壳层理论，以及沉积-后期热液叠加对铁、铜成矿的意义。元素地球化学除涉及一般痕量元素和元素对之外，还重点研究了中国特有的稀土-铁建造。这次大会在“十年动乱”刚结束的两年后召开的，能有这么多的成果，一方面说明了科技工作者在艰难的环境下仍在奋力工作，另一方面显示了地球化学学科的强大生命力，在中国经历了早于世界各国的漫长的萌芽时期之后，又在较世界发达国家晚得多的20世纪50年代得以起步，到70年代终于迈开稳健的步伐前进了。

20世纪70年代后期到80年代初，涂光炽主持的“华南花岗岩类地球化学”和“层控矿床地球化学”的系统研究取得了丰硕成

果，特别是后者，成为我国地球化学研究的发展的丰碑。

20世纪80年代，中国地球化学进入稳步发展阶段：已有的分支学科日趋成熟，向综合性和全球性研究发展；原来比较薄弱的学科得到加强，大有起色，出现了一些新的学科生长点；研究方法和实验技术也有了长足的发展，逐步建成和完善了自己的学科理论体系和实验技术系统，积累了大量系统化、群集化的数据；有了一支具一定水平的科研、教学骨干队伍和日益壮大的后备人才力量；学术活动十分活跃，学术团体在组织和协调学术交流和学科发展中发挥了导向和组织的作用；有了多层次的学术期刊，发表了大量学术论文和专著。一些重大课题如层控矿床地球化学、低温地球化学、地幔流体与软流层地球化学、应用于地球科学的加速器质谱计的研制与建立等项目都已取得令人瞩目的成果。从1982年“中国的黄土”获国家自然科学二等奖起，已有数百项地球化学研究成果获得包括国家自然科学奖、科学技术奖和发明奖在内的不同层次奖励；其中“京津渤区域环境综合研究”、“找油找气有机地球化学新指标、新方法及其应用”、“准噶尔盆地形成、演化及油气形成”和“白云鄂博及其外围地区铁、铌、稀土多金属矿床成因、物质成分及找矿远景研究”获1985年国家科技进步二等奖；“中国层控矿床地球化学”获1987年国家自然科学一等奖；“中国沉积岩层和沉积矿层的形成与展布演化及变革的自然规律研究”获1987年国家自然科学二等奖；“白云鄂博铌、稀土、铁矿床的矿物学与地球化学综合研究”获1989年国家自然科学二等奖；“秦巴岩石圈、构造及成矿规律地球化学研究”获得了1995年国家自然科学三等奖。

这个时期，研究人员积极从事理论地球化学的研究，以地球化学作用与时空结构为基础，耗散理论为指导，提出了一个新的地球化学学科体系与方法论，又用这一理论指导进行区域地球化学和成矿预测研究，开拓了成矿作用动力学的理论体系，使中国在理论地球化学领域有了良好的开端。有机地球化学在80年代与石油地质学、石油地球物理学一起成为油气勘查中的3大理论基础，并在

油气成因理论、油气运移、油气化探及含油盆地综合评价中起着举足轻重的作用。涂光炽提出并讨论了油气矿床与活泼元素改造矿床在成因上的关联，从而将有机物与金属矿床的形成辩证地联系起来，使矿床地球化学、有机地球化学、环境地球化学的研究思路更加开阔，促进了学科间的渗透；这种渗透和交叉也表现在环境地球化学与生态学之间，地球化学与热力学、化学动力学及量子化学之间，以及地球化学与统计力学之间；一些学者积极倡导与进行生态地球化学、地球化学热力学、地球化学动力学、量子地球化学和统计地球化学的研究；一些地球化学的测试方法、找矿或油气探测方法及地球化学标准样等，也开始进入市场经济。这些都体现了地球化学学科社会功能的发挥，也显示了它在自身理论建设和社会经济持续发展中的强大生命力。这个时期善于采用多兵种、多方法的多学科协同综合研究。如吉林陨石雨课题不仅应用了矿物学、岩石学的常规手段，而且综合应用同位素地球化学、实验地球化学、有机地球化学、气体地球化学的研究思路和方法，在中国地学界最早采用中子活化分析、高分辨电子显微镜、低水平放射性宇宙成因核素分析、离子探针质谱分析、加速器质谱分析等新的分析测试技术，使陨石学研究由陨石个案扩大到群体的综合研究，扩展到宇宙尘、陨石坑、球外物质撞击地球及其引起的灾变事件和气候、环境变迁的研究，发展了天体化学，促进了地球科学与天文学、比较行星学、空间科学、物理学、化学、生物学、环境科学之间渗透与交叉。

20 世纪 80 年代末 90 年代初，中国地球化学的最大特点是汇入了全球变化研究的大军，不仅如环境地球化学、第四纪地球化学、生物地球化学这样一些与之密切相关的分支学科将自己的重点转向这一领域，其他一些学科如有机地球化学、同位素地球化学、天体化学、气体地球化学、元素地球化学、沉积地球化学、海洋地球化学、实验地球化学等等也纷纷转向这一科学目标，参与到过去环境变化的地质地球化学记录和现代大气圈、水圈、岩石圈地球化学过程与互相作用的研究中去；并与其他学科相配合，试图用综

合研究、对比的方法，共同攻关。如 90 年代有机地球化学将生物标志物和有机污染物导人全球变化和环境地球化学，研究过去全球变化的地球化学记录，研究现代大气和地下水污染，特别是那些分布广、含量甚低而有毒有害的难降解的有机污染物，一门新的分支学科——环境有机地球化学正应运而生。天体化学在 80 年代从陨石学向天体发展而形成一门新学科以来，90 年代又“回到”地球：将天体的形成理论应用到地球的成矿作用研究中，从原始星云讨论地球的化学不均一性、行星地球的星子堆积模型，探讨成矿作用和超大型矿床的形成，探索地球历史时期的环境与气候变化。与此同时，一些新的学科生长点，如低温地球化学、流体地球化学与特殊态物质（纳米物质、超临界流体、剪切带流体、天然气和固、气态物质等）的成矿及环境、灾害效应的研究也都取得可喜的进展。在实施可持续发展战略中，发挥学科自身的特点，将研究范围延伸到资源、环境和灾害领域，参与全球变化和全球地学断面研究行列。全球变化研究既牵涉到地质历史时期自然环境、古气候的变化及地质地球化学历史档案的提取，又涉及到近代或当代的生态演化、自然环境变迁，因此地球化学学科中的环境地球化学、第四纪地球化学、有机地球化学、同位素地球化学、实验地球化学、沉积地球化学、海洋地球化学、天体化学、生物地球化学、元素地球化学、岩石地球化学、气体地球化学以及构造地球化学等等分支学科都可以参与其中的研究；而全球变化所演绎出来的人类社会可持续发展战略的优化资源配置、实现资源可持续利用的要求，则需要地球化学学科中有关资源方面的分支学科积极参与，于是矿床地球化学、元素地球化学、岩石地球化学、同位素地球化学、区域地球化学、实验地球化学、有机地球化学、前寒武纪地球化学、流体地球化学、沉积地球化学、生物地球化学、海洋地球化学、理论地球化学等等分支学科有了用武之地。

由于学科的互相交叉和互相渗透，形成了一些大型的研究课题，在 30 个“国家攀登计划”项目中，有 4 个与地球化学有关的项

目：与超大型矿床有关的基础研究、我国未来（20～30年）生存环境变化趋势的预测及对策研究、现代地壳运动和地球动力学研究及应用、青藏高原形成演化环境变迁与生态系统的研究。这些大型项目的落实和执行，表明地球化学学科逐渐走出自身的学科范围融入大科学的范畴，标志着地球系统科学在中国的出现和壮大。

从20世纪80年代到90年代，中国地球化学之研究内容、研究对象与学科社会功能发生重大战略转移的同时，进入了一个稳步发展的阶段，体现了地球化学的"边缘学科"和"年轻学科"的特点：原有的分支学科得到发展，沿着新的学科生长点，与其他学科交叉、渗透，产生新的分支学科。看来，包括地球化学在内的地球科学将维持这一势头进入21世纪；地球科学在新的世纪的发展趋势已初见端倪。

中国的地球化学学科在20世纪末已进入一个稳定发展时期，学科体系逐渐形成，已经建立起适应中国地质地球化学特点和符合科学技术、经济建设实际需要的学科体系，可以基本满足国家经济建设和社会发展提出的要求，特别是国家实施可持续发展战略以来，以《中国21世纪议程》为准则，近年来地球化学学科已逐渐将自己的研究目标定位在参与地球系统资源、环境和社会发展协调问题上，在人与自然协调发展的战略水准上为国家的决策作出咨询。就是说，中国的地球化学在加强理论探讨的同时，为适应社会主义市场经济，在可持续发展战略思想指导下，已迈出稳健的步伐。

现在我们可以看出中国地球化学学科发展有3个特点：一是起步晚，发展快，在比发达国家晚了百余年后仅仅用了40多年的时间，完成了西方国家百余年所走过的道路，能依据中国的地质地球化学特点，紧密结合资源、环境和灾害的实际问题，走出自己的发展道路，初步形成具中国特色的地球化学研究体系，实验系统逐步完善，获得了一批重大科研成果，造就了一支具有良好素质的科研、教学队伍，目前已能跟踪和发展世界地球化学学科的一些前沿

领域；二是应用性研究发展快，理论研究相对薄弱；三是中国的地球化学研究人员多“出身”地学领域，自身的知识结构大多限于地球科学范围，因此“近亲”发展有余，而“远缘”杂交缺乏原动力，或者说在地球科学范围内游刃有余，而跳出这个范围，涉足其他学科则“心有余而力不足”，因而学术思想显得不够活跃，缺乏创新和开拓精神，在理论上少有建树。正像阿·费尔斯曼当年引导青年献身科学、投身地球科学研究一样，我们也盼望将来在读者之中有更多的有志青年献身祖国的地球化学事业，造就出中国的地球化学家。

四

作为地球科学的支柱学科，地球化学理所当然地肩负着解决当代地球科学基本理论问题——天体、地球、生命、人类和元素起源与演化的伟大使命，也有责任为人类提供充足的能源、水与矿产资源和良好的生存环境，为协调人与自然的关系作出自己的努力。下面用一些实例简单介绍地球化学在上述理论和应用两个方面所起的作用。

地质年代学与同位素地球化学通过自己的研究，测定地球、陨石和月球的年龄，探讨地球和月球早期的岩浆活动。气体地球化学帮助了解原始地球的自身排气作用，探索大气中水和氧气、二氧化碳等气体的来源，探讨早期(例如一二十亿年前)的地球大气氧化、还原状况。在板块构造论述大洋板块的成长-消亡过程中，白垩系-第三系界线粘土层论证地外物体撞击地球从而影响到地球和生物演化历史的过程中，同位素地球化学为之提供了无可辩驳的证据；特别是近 20 年来，在全球环境变化研究中，地球化学有着不可替代的作用，海底沉积物、湖泊沉积物、黄土-古土壤、树木年轮、冰岩

心、石笋、动物介壳的同位素地球化学与微量元素地球化学研究，为恢复古气候，重建古海洋环境，了解冰期活动、环境变化，查明元素的生物地球化学循环，为探讨地质地球化学作用和人类活动对环境的影响，预测未来环境变化提供了有力证据。

通过地球化学的研究，鉴定了陨石和宇宙尘的物质成分，发现了其中的氨基酸，研究了宇宙线和宇宙成因核素，特别是南极陨石的研究，对其中几块可能来自火星的标本的化学组成、形成年龄、宇宙线暴露年龄、冲击特征与宇宙线辐照的研究，除了帮助重建陨石的演化历史外，还有助于了解地球的形成和行星的演化；地幔物质的模拟实验和地球上氧、碳、氢、磷、氮等元素的地球化学循环研究，对地球科学的重大理论问题的解决作出了贡献。

地球化学作为很强的应用性学科，在当前减缓能源紧缺、扩大矿产资源来源、解决水污染、缓解水资源紧张局面中起着独特的作用。近 50 年间，地球化学学科中生长出一系列与能源有关的分支学科，如有机地球化学、石油地球化学、煤地球化学、气体地球化学、煤层气地球化学、油气地球化学等等，有的直接参与能源的寻找，解决石油、天然气、煤成气、煤成油的普查勘探方法，有的探讨生油、成气和形成油气藏所必需的条件——储、运、盖有关的成因与机制。有机地球化学通过生物标志化合物的研究，可以判别有机质的来源，成煤、成油、成气的物理化学条件，时代特征标志，石油的成熟度及陆相沉积条件；通过地球化学研究，还可探讨地球深部生油成气和寻找工业油气源的可能性。应用地球化学方法勘查油气田已取得良好的效益。60 年代中期有几家石油公司用地球化学方法找油的成功率就达 59% 。70 年代苏联以地球化学勘查方法(简称化探)为主发现了 41 个油气田，否定了 5 个油气勘探区；而在详细评价阶段，地球化学方法的成功率达 70% 以上。近 20 年来，外国科学家一直在致力于寻找深部的、非生物成因的碳氢化合物，但没有成功。我国气体地球化学研究人员不仅系统阐明了非生物成因天然气理论，而且在松辽盆地发现了世界上首例有充分证

据的非生物成因天然气形成的气藏，在苏北找到了壳-幔混合型工业氦气藏。地球化学在能源方面发挥的作用，还表现在开发清洁能源方：地球化学、同位素地球化学、勘查地球化学、矿床地球化学等分支学科致力于核能、地热与干热岩的开发利用。

地球化学找矿作为一种重要的普查找矿方法已被广泛地应用于包括水在内的矿产资源勘探中；地球化学通过矿床地球化学、勘查地球化学、元素地球化学以及地球化学综合分析，在矿产资源(特别是盲矿、深埋矿)的寻找、开发与综合利用等方面发挥自己的作用。这方面的例子很多，我国攀枝花铁矿、金川铜-镍矿的综合利用是两个成功的实例：前者最早是作为铁矿发现的，后来通过物质成分和元素在矿石中分布与赋存状态研究，不仅为矿石的采矿-选矿-冶炼流程的决策提供依据，而且发现矿石中含有可以利用的钛、钒、钴、镍、铜、硫与铂族金属。这里我们对“钒”多说两句。阿·费尔斯曼在本书中称钒是“汽车的基础”，说“没有钒就没有汽车”，“就不会有石油”。由于钒的一些特异性质，它被广泛用于钢铁、化工电子与石油工业，是20世纪的一种战略物资。含钒的矿物有百余种，可是真正能提炼出钒的工业矿物却只有三五种。这样重要的工业原料我国以前主要靠进口，后来从石煤中提取钒，但也是杯水车薪，远水解不了近渴。攀枝花铁矿中钒的综合利用，迅速扭转了我国钒产品靠进口过日子的局面：攀枝花冶金矿山公司从1970年到1991年已生产出2900多万吨生铁、2200多万吨钢和70多万吨钒渣，使这个西南地区的“钢都”又增添了“钒都”的美誉。自1974年攀枝花从钒钛磁铁矿中提炼出钒进入大规模生产以来，不仅够自己用，还出口英国、日本、美国、法国和德国。金川铜-镍矿的综合利用开发虽然不像钒矿这样能解“渴”，但对我国这样缺乏铂族金属的国家来说，已经起了不小的作用。号称“工业维生素”的铂族金属主要产于南非和俄罗斯，它们与美国、加拿大合起来储量和产量都占世界的95%以上，这些国家的铂矿既大又富。而中国的铂矿正好相反：矿小，矿石又贫。国家每年以巨额外汇进口90%需

求量的铂族金属。尽管“上天”分配不公，总不能“怨天尤人”，我们只有走综合利用这条路：地球化学工作者在金川铜-镍矿床中发现了含量极低、矿物颗粒极小的铂族金属。在那里，即使最富的矿石中铂、钯、铱、锇、钌、铑6种元素的含量每吨矿石中也不过0.2～0.5克。由这些元素组成的矿物大小都只有0.05～0.5毫米，最大的也不过1毫米。从70年代至今，金川有色金属工业公司综合回收了数千公斤的铂族金属，量虽不算多，但对我国来说应该是够解“渴”的了。

矿石综合利用的例子还很多。尤其是我国，很少有哪个矿是产出单一的金属，而多种金属混杂生活在一起的“大家庭矿”却比比皆是：在铜矿中可以找到金与铂族金属，在铅锌矿中可提取出银，从钼矿石中可取得铼，多金属矿中可综合利用镉与铟，从高岭土中有可能提取稀有和稀土元素等等。在这种情况下，地球化学家可以拟定综合回收有用组分的最合理方案，向工厂推荐最佳工艺流程，为矿石的综合利用开辟新途径。这些工作的结果，使矿床的经济价值倍增。同时，根据上面的事实，利用地球化学的元素共生-伴生原理来找矿，已经在低温条件下形成的银矿中找到汞、砷与锑矿，而在已知的汞、砷与锑矿田（或矿带）内找金矿，则可事半功倍。

地球化学通过水文地球化学、有机地球化学、环境地球化学、同位素地球化学与构造地球化学等学科的研究，可以提供地下水的形成、水质、流向、流速、演化及其他水文地质参数，为解决水资源和水污染作出自己的贡献。

地球化学对查明和防治地质灾害与地球化学灾害，也有自己独到之处。目前对金属矿山的研究侧重于矿山酸性矿坑水和重金属的环境污染，非金属矿山则主要针对粉尘与矿井塌陷，如煤矿、石膏（盐类）矿等，涉及地表水和地下水的排泄与污染。湖北应城膏盐类矿山的地球化学环境效应就表现为水采法采卤技术导致的地面塌陷、沉降与土壤盐渍化，引起水稻减产，大米品质下降，局部地区甚至颗粒无收，农民叫苦不迭。

科学家已经把地圈与部分大气圈、水圈中元素运移、演化而造成的灾害，即由于元素的富集、贫化或元素比例失调对人类和生物发育与健康的不良影响作为一种灾害——地球化学灾害来研究。这种灾害既可能是由于原生的自然环境造成的，也可以是人为活动所致，甚或二者兼而有之；可能是通过土壤、饮水、植物与食物链造成的，也可能是通过空气致病的。总之要全面研究其地球化学背景和元素的生化作用、生物地球化学过程。科学家已经对地方性氟中毒、地方性砷中毒、地方性铊中毒、地方性硒中毒、乌脚病、克山病、大骨节病、伽师病及碘缺乏症等严重影响人体健康的地球化学灾害进行研究，初步探讨了它们的致病因子、致病途径、地球化学背景与防治办法。具体到一个矿区或病区，则要深入、综合研究元素的生化作用、生物地球化学过程及各种地球化学因素间的关系与互相作用。如50年代初发生在日本的水俣病，就是工厂向湖里排放无机的镉化合物所致；但按说无机镉不会造成危害的，可是湖中的鱼吸收了无机镉后，将其转变为有机镉，有机镉便在人体中作怪，引起镉中毒而患水俣病。又如萤石、硫铁矿或铅锌矿矿区，矿石所含的氟、硫、铁、镉、铅、锌等元素被溶解进入地下水、土壤和沉积物，在采矿、选冶过程中这些元素也会被释放出来，提高了环境(包括大气)中有害元素的浓度，加速了地球化学灾害的暴发。人们把长期储存于土壤、水和沉积物中的化学物质活化而引起突然暴发的有害效应称为“化学定时炸弹”；这些“定时炸弹”在元素储存量超过承受能力的限度时，或者气候、土地利用方式改变时，元素就会活化，导致灾害的发生。地球化学灾害与人类健康有着密切的关系。阿·费尔斯曼在本书的“活细胞里的原子”一节中曾提到某些元素，特别是微量元素对人体不可或缺的作用，也介绍过“到处都有的元素”——碘，但这只能算是提了个头；现代地球化学不仅探讨了大的地球化学环境、地球化学条件对人体与其他动植物健康生长的决定作用，而且已经深入到元素数量(含量)、质量(元素的种类与形态)、元素间的比值(不同元素组合及两两元素间的含量

比值)，以及不同元素的拮抗作用对生物体健康的影响。已经发现我国的克山病和大骨节病分布在从东北向西南的一个很宽的地带内，地理上包括黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、山东、山西、河南、陕西、甘肃、湖北、四川、贵州、云南和西藏等省区的300多个县(市、旗)，威胁着3000多万人的身体健康。地球化学工作者发现这个宽带内缺乏硒元素，包括水、土壤以及小麦、玉米和水稻等粮食作物中硒都低于邻区，其他元素如钼、钙、镁、铁、锌等的含量也失调。再深入到病区看，发现被当地老百姓称为“水岗地”的发病区，是地球化学上因富含腐殖质、土质潮湿粘滞、地下水流不畅的还原环境；而不发病的“火岗地”则是有机质少、土质干燥松散、地下水渗流较好的相对氧化环境。它们在水与土壤的地球化学上也有显著的差别。另一个典型的例子是湖北鄂西土家族苗族自治州和陕西紫阳一带，人们常常“无缘无故”地饮食不振，头昏乏力，异常性脱发、脱指甲，有的还出现皮肤斑疹，甚或痉挛、呼吸困难；与此同时，植物则叶枯黄，出现黄色斑点与“白菌”；人倒没有死亡的病例，家禽家畜则常因此而毙命。调查的结果发现，是这个地区硒元素太多之故。原来这里的一套地层中含硒非常高：被称为“石煤”的碳质硅岩和碳质页岩中每千克中含硒1000毫克以上，最高的达8590毫克，病区的玉米每千克含硒也有40毫克。硒的生化作用表明，它是生物体必需的元素，有抗癌与提高免疫功能的作用，但当含量超过一定的限度，便显示出一定的毒性，所以人体中的硒低了不行，高了也不行：人体的每日摄入量以50～250微克为宜，而重病区每人每日的摄入量竟达30毫克以上，超过标准的600～120倍。

现在人们已经搞清楚，不仅许多元素在人体中必须限定在一定量的范围，多了少了都不行，而且元素之间还有相互作用、相互拮抗的关系。例如，碘在人体中含量过低就会引发碘缺乏症，包括地方性甲状腺肿、地方性克汀病和亚克汀病。甲状腺肿就是俗称的“大脖子病”，地方性克汀病(病情轻一点的称亚克汀病)是一种先天性疾病，由于胎儿发育期严重缺碘，致使幼儿发育缓慢，反应迟

钝，身材矮小，智力低下，表现为聋、哑、痴、呆，重者达白痴程度。在缺碘区常常出现“傻子村”、“哑巴屯”。费氏在本书中提到过高加索中部、帕米尔、阿尔卑斯以及美国的一些地区都流行甲状腺肿。其实全世界有 14 亿人生活在缺碘区，中国就有 4.25 亿人深受碘缺乏症的威胁，中国大陆地区除了上海市，没有一个县一个省逃得出这种病的“魔爪”，对我国人口质量投下了巨大的阴影：全国 1017 万残疾者中有 80% 是由于缺碘造成的。黑龙江省桦川县有一个“傻子村”，全村 1310 人中有 856 例地方性甲状腺肿症。贵州都匀有一个村，78 名青少年中有 30 个地方性克汀病者。西藏 34 个碘缺乏症病区现症病人达 25 万，一些地区儿童智商偏低者占 1/3。中国人深受碘缺乏症荼毒之害可见一斑。阿·费尔斯曼在本书中已指出缺碘是这些病的病因。但是现代地球化学研究表明，碘低的地方发病率不一定就比其他地方高：湖南龙山县饮水中平均含碘 1.18 毫克/升，张家界市为 4.72 毫克/升，而发病率却分别是 2.64% 和 15.7%；已经查明发病率还受其他一些因素的控制，水中氢的同位素氘就是一个可能的因素，饮水氘浓度低于 -30‰放射性值时，可激发人体新陈代谢。此时饮水中碘浓度如低于 5 毫克/升，就会发病；氘浓度增高会抑制人体的基础代谢率，此时尽管碘含量低却也不会发病。随着地球化学研究的深入，还在富硒的地区发现锌、钙、硒对锗毒害的一定抑制作用，发现克山病病区钼、铁和锌含量低与克山病发病率的一定关系等等。所有这些结果都与元素的生化作用、生物地球化学性质及其作用过程有关。

地球化学还从另一个角度参与灾害的研究，例如通过地球化学方法——地下水氡气浓度异常测量可预测和监测地震活动。苏联曾用氡气、氦气和二氧化碳的地球化学异常，成功地预报了几次六七级的大地震。日本以特定地区地幔挥发性气体丰度作为活动带火山爆发和深源地震的预报依据，在一两个月前测知北海道十胜岳火山和樱岛火山的喷发活动时间。我国通过同位素地球化学和气体地球化学对长白山与云南腾冲火山的研究，指出这两个已

分别有 100 年与 380 年未曾喷发的火山不是“死”了，而是在“睡觉”——“休眠火山”，有朝一日“醒”来，还会大耍威风的。近年来，地球化学工作者还积极参与核废料和有毒化学废物的处理研究，探讨如何使这些废物变成稳定的化合物，或者用地球化学方法将它们固封起来，天长日久也不要泄漏出来，达到永远安全储存的目的。

五

与世界上其他事物一样，地球化学与整个地球科学在自己发展历史的长河中总会遇到急流与险滩，漩涡与暗礁。大约在 20 世纪 80 年代末 90 年代初，地球科学界感到原来的一套工作方法已不适应新的形势，新的成果也不像以前那样吃香，地球科学似乎处于停滞的状态，研究工作进入了低谷。国际地学组织的学术领导人惊叹“地球科学向何处去?”于是，“地球物理学向何处去?”“地质学向何处去?”“地球化学向何处去?”的呼声日渐高涨；地球化学的基础学科矿物学和岩石学也面临“向何处去?”的抉择。面对出路在哪里，学术界议论纷纷，人们召开学术会议以此为中心展开讨论，组织专题研究。在探讨和议论中，在实践中，在联合国里约热内卢环境与发展大会确定可持续发展战略的时刻，一个重大的学科发展战略——向发挥学科社会功能的转移逐渐清晰地显现出来。

上面我们已经看到，近 20 年来地球化学这门年轻的学科在基础研究与应用研究中取得丰硕成果的同时，已经发生了战略性转移。这些重大的战略转移，概括起来有下面几点：(1)研究的内容从侧重地壳化学组成与某些化学作用扩展到整个地球，包括地幔、地核及外层空间，而且将一切自然过程的化学机制作为研究的重点；把对单个过程的研究从静态、平衡态和可逆状态转向动态、非平衡

态、不可逆状态的探讨，进行了实验模拟和数学模拟；(2) 研究的对象由单个地质体为主发展到把整个地球作为一个系统——地球系统、地日系统来考虑，研究其不同历史时期和不同时间尺度的状态和变化，以及不同层次界面间的相互关系；(3) 注意发挥学科的社会功能，既注重学科自身理论体系的建立，也注重学科为社会和经济可持续发展服务。中国地球化学研究的发展态势也基本体现了上述战略性转移。

有了上述战略转移的基础，又有了人类社会发展的战略——可持续发展战略，地球化学的发展趋势就明显地突现在我们面前。这个趋势就是完善学科体系和地球化学理论体系，加强基础理论研究，扩大和完善与其他学科的渗透和结合，为使人类生存必需的能源、矿产资源和水资源得到永续利用，为人类的生存与繁衍提供最优美的环境，保证人类世世代代永远繁荣昌盛。

人类将要迈入第三个千年纪元，人类与自然界的关系发展进入一个崭新的阶段；摆在地球化学工作者面前的任务越来越艰巨，这些任务包括：全球变化的地球化学研究，地球内部流体的探究，能源、水与矿产资源的寻找和综合利用，以及地球系统与太阳系的耦合关系。这些专业研究也许对读者来说太抽象了，在结束这篇短文之前，不妨再列出下面一些初步选定的项目与课题，或许可以帮助获得一些感性知识。这些项目和课题有：理论地球化学方面，研究地幔的不均一性、大陆岩石圈的结构和成分、陆壳的起源与演化、成矿作用的地球化学热力学与地球化学动力学及水-岩相互作用等；全球环境变化的地球化学方面，将研究全球环境变化的地球化学再造、生态环境有关的地球化学、人类活动与地球环境的相互影响、岩石圈—水圈—生物圈—大气圈的相互影响、地球化学旋回和沉积总量的均衡等；流体地球化学方面，将探讨深部流体与成矿作用、地球内部流体动力学、地球内部流体与生物圈、大气圈的相互作用，以及地球内部流体实验；地球系统与天体的耦合关系方面，将研究地外物体撞击及其对地球历史

的影响，比较行星学与地球的早期历史、生命起源等等。

笔者期望通过以上的阐述，表明现代地球化学与半个世纪前阿·费尔斯曼在本书中论述的地球化学有什么相同之点，又有什么不同之点，已经发展到什么水平，在人类社会生活中起到什么作用，以及中国的状况如何，等等。如果读者合上这本书的时候，脑子里已有了一些答案，那么笔者写这篇“跋”的目的就算达到了。

谢谢您耐心地读完这篇“跋”。

1998 年 7 月 10 日于贵阳

策划编辑：谭清莲
责任编辑：黄永华
装帧设计：熊玉心

